



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



ENERGIA RENOVÁVEL: BIODIESEL E COLETOR SOLAR

Jucal Belval

Florianópolis

Julho/2015

Jucal Belval

ENERGIA RENOVÁVEL: BIODIESEL E COLETOR SOLAR

Relatório de estágio apresentado ao curso de Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Kazushi Nagaoka

Supervisor: Prof. Dr. Pedro Castro Neto

Instituição: UFSC e UFLA

Florianópolis- SC

2015/1

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Marie Geneviève Lamour Belval, Yves Belval, o bem mais precioso da minha vida e, em especial a meu tio Jean Sylvera Monice.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus Todo Poderoso por me proporcionar saúde, força e vontade e que é o maior fomentador de minhas conquistas.

Agradeço a minha mãe e meu pai pelo amor, carinho, seu apoio imensurável e que me ensinaram a importância que a educação tem na vida.

Agradeço ao meu tio Jean Sylvera Monice que sempre está do meu lado, através do seus conselhos valiosos e seu apoio financeiro.

Agradeço a minha irmã Dgeniva Ketsia Belval pelo seu amor e carinho.

Agradeço ao governo do Haiti e do Brasil que me permitiram vivenciar a cultura tão rica e diversificada deste país.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por toda oportunidade para que eu crescesse em minha vida acadêmica.

Agradeço ao Professor Alberto Kazushi Nagaoka por ter sido um criador de oportunidade, mestre, que não só abriu as portas para esta minha caminhada, mas cuja dedicação e paciência (muita) e sabedoria foram fundamentais para concluí-la.

Agradeço ao Professor Pedro Castro Neto pela sua orientação por ter aberto as portas do seu Laboratório G-óleo na UFLA, permitido que eu tenha uma visão mais ampla da cadeia produtiva de biodiesel na prática em tão pouco tempo, apesar das dificuldades (falecimento e doença) confrontaram a sua família no decorrer do estágio.

Agradeço ao Professor Fraga pela sua ajuda e suas caronas amigáveis e aos “escravos” do Prof. Pedrão principalmente a Saulo por ter me acolhido na sua casa com imenso carinho.

Agradeço a Professora Rosete Pescador por ser uma ótima amiga querida que sempre me guiou com muita paciência e sabedoria para os melhores caminhos, desde a minha chegada no CCA até esta instancia.

Agradeço ao Borsoi, pelas suas orientações.

Agradeço ao Professor Fernando C. Bauer pela sua ajuda como um dos Professores Responsáveis do LMMM e principalmente pela sua disciplina “Agrocombustível e Energia” que me enfatizou a buscar mais conhecimento nesta área.

Agradeço ao Professor Rosandro Boligon Minuzzi pelo seu apoio técnico-informático-Climatológico,

Agradeço a todos os professores que contribuíram para o meu crescimento.

Agradeço a Guilherme Bomm pelo auxílio muito valioso no experimento realizado e a toda equipe do LMMM, que contribuiu de alguma forma para a realização deste trabalho.

Agradeço finalmente aos amigos que estão presentes Derline, Lunel. Em especial a Elton Luiz, Anderson Romão, Marlon, Lucas Vugman pelo fraternal convívio e pelas demonstrações de carinho e amizade,

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, tanto material quanto espiritualmente, a minha eterna gratidão.

Sumário

RESUMO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA DO ESTÁGIO.....	5
3. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DO ESTÁGIO	7
4. OBJETIVOS	8
4.1- Objetivo Geral.....	8
4.2 Objetivos Específicos.....	8
4.2.1 Acompanhar e participar pesquisas do laboratório na área de produção de biodiesel a partir de óleo vegetal e gorduras animais.....	8
4.2.2- Construir e avaliar o desempenho de 3 tipos de coletores solares.	8
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-BIODIESEL.....	9
5.1- Biodiesel no Mundo e no Brasil.....	9
5.2- Matérias Primas de Diferentes Culturas e Gorduras Animais e suas Potencialidades na Produção do Biodiesel.....	10
5.2.1- Características gerais das duas matérias primas (Soja e Gordura animal) utilizadas na produção de biodiesel	13
5.2.1.2- Gordura Animal.....	15
6- ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS DAS ROTAS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL	18
6.1- Transesterificação de Óleos Vegetais e Gordura Animal	18
6.2- Esterificação de Ácidos Graxos	20
6.3- Creaqueamento	20
6.4- Produção de Biodiesel e Subprodutos.....	21
6.4.1- Subprodutos	23
6.5- Extração por Prensagem Mecânica Helicoidal.....	23
6.6- Extração Química	23
6.7- Moringa Oleífera	24
7- ATIVIDADES ACOMPANHADAS	25
7.1- Geração de Energia Térmica (Caldeiras)	25
7.2- Coleta e processamento de óleo residual de frituras	26
7.3- Graxearia	28

7.4- Extração de Óleos Vegetais	30
7.4.1- Extração mecânica	31
8- EXPERIMENTO	34
8.1- Material e Método	34
8.2. Extração por Prensagem Mecânica de Moringa	35
8.3. Extração Química.....	36
8.4- Análises Físico-Químicas do Óleo	37
8.4.1- Índice de acidez.....	37
8.4.2- Índice de peróxido	38
8.5- Produção de Biodiesel a Partir do Óleo de Moringa Oleífera.....	38
8.5.1- Reação de transesterificação	38
9- BIODIESEL – RESULTADO E DISCUSSÃO	41
10.- CONCLUSÃO – BIODIESEL.....	41
11.- COLETOR SOLAR – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	42
11.1- Panorama Mundial da Energia Solar	42
11.2- Energia Solar no Brasil	43
11.3- Tipos Fundamentais de Coletores Solar para Aquecimento de Água.....	46
12. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	49
12.1- Os Coletores	49
12.1.1- Aquecedor solar desenvolvido pela USP - PIRACICABA.....	49
12.1.2- Aquecedor solar composto desenvolvido pela CELESC	50
12.1.3- Aquecedor solar desenvolvido pela UFSC	53
12.2- Caixa d' Água ou Reservatório	54
12.3- Isolamento térmico do Boiler ou Reservatório e os Tubos de Conexões.	55
12.4- Posicionamento	56
13- BANCADA.....	58
13.1- Instrumentação	58
13.1.1- Calibração dos termômetros.....	58
13.2- Aquisição de Dados	60
13.4- Medições das Temperaturas.....	60
13.5- Procedimento do Ensaio.....	61
14- RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
14.1- Calibração dos Termômetros.....	62

14.2- Medição das temperaturas.....	63
14.3- Eficiência dos Três Aquecedores Solares Analisados	68
15- ANALISE ESTIMATIVA DO CUSTO DOS TRÊS AQUECEDORES SOLAR.	71
16- CONCLUSÕES	75
16.1. Experimento Realizado com os Aquecedores	75
17. CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
18. REFERÊNCIAS	79
20- Appendices	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Laboratório de G-Óleo UFLA:.....	6
Figura 2. EFAE e LMMM do CCA/UFSC.	7
Figura 3. Matéria prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil de 2005 a 2012.	12
Figura 4. Matérias primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil durante o mês de janeiro 2015.	12
Figura 5. Fluxograma dos produtos derivados da soja.	15
Figura 6. Participação na produção nacional do complexo carnes – 2014.....	17
Figura 7. Esquema da reação de transesterificação.	19
Figura 8. Mecanismo aceito para a transesterificação de triglicerídeos, onde B é uma base de Brønsted.	19
Figura 9. Esquema da reação de esterificação.	20
Figura 10. Caldeiras no setor de geração de energia térmica: a) Caldeira de combustível lenha; b) Caldeira de combustível diesel e/ou biodiesel:.....	26
Figura 11. A) Minivan e Caminhão de coleta; B) Bombona de coleta de óleo residual residencial.....	27
Figura 12. Recepção e Armazenamento do óleo A) Pre-separação do óleo dos materiais mais densos (água, sólidos etc) B) Bombeamento e armazenamento do óleo em decantadores.	27
Figura 13. a) Purificação, lavagem e secagem e b) setor de co-produto de óleo:	28
Figura 14. Câmara fria, Triturador ou moedor de ossos e transportador.....	29
Figura 15. a) Digestor/digestão; b) Rosca transportadora.	29
Figura 16. Tanque agitador.	30
Figura 17. A) Prensa ou extrator mecânico; Prensa Expeller: a) Sementes de moringa b) Separação torta e óleo; c) Coleta de óleo.	31
Figura 18. Cozinhador Vertical	32
Figura 19. Decanter Centrifuga.	33
Figura 20. Processo de obtenção do óleo de moringa oleífera: a) Semente de Moringa oleífera junto com a casca do fruto b) Sementes separadas da casca do fruto c) Extração mecânica de óleo a partir de uma prensa extratora de óleos vegetais d) Sistema Soxhlet e) Evaporador rotativo f) Óleo de moringa da extração química do sistema Soxhlet g) Óleo de moringa da extração Mecânica.	34
Figura 21. Extração mecânica por prensa contínua tipo Expeller realizando a extração de óleo de Moringa.	36
Figura 22. Extratores tipo Soxhlet realizando a extração química de óleo de Moringa.	37

Figura 23. Reator de vidro encamisado com capacidade interna para 500 mL, realizada a reação de transesterificação.	39
Figura 24. Funil de Squib de decantação, onde ocorreu a separação dos reagentes em excesso, as impurezas e o glicerol (glicerina) e o biodiesel, após uma hora.	40
Figura 25. Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial Brasil: 44	
Figura 26. Fonte de energia utilizada para aquecimento de água para banho (Eletrobrás Procel, 2007).	45
Figura 27. Esquema de coletor solar plano e o efeito estufa resultante.	46
Figura 28. Coletores de foco concentrado, parabólico e Fresnel.	47
Figura 29. Seção típica de um coletor de superfície plana.	48
Figura 30. Aquecedor solar na fase terminal de construção: a) antes de colocar o plástico de estufa b) Após colocar o plástico de estufa.	50
Figura 31. Caixa de leite cortada, pintada de preto fosco, para ser colocada dentro da garrafa.	52
Figura 32. Cada barramento do coletor foi composto por 4 conexões “T” e respectivos distanciadores de 4cm.	52
Figura 33. Fixação do coletor solar no suporte; a) coletor amarrado no tubo de PVC branco; b) Parafusando o suporte numa tabua de madeira; c) Coletor fixado no suporte.	53
Figura 34. Diferentes partes e etapas de construção do aquecedor solar desenvolvido pela UFSC: A) Barramentos/tubos; B) Telhado (área absorvedora) C) Isolamento do coletor com caixa de papelão, antes de ser pintado de preto fosco D) Isolamento dos tubos de conexões/mangueiras; F) Coletor solar acabado.	54
Figura 35. Esquema do Sistema de Termossifão para garantir a retirada da água fria na parte inferior do boiler a partir de uma mangueira.	55
Figura 36. Reservatório de água ou boiler dos Aquecedores solar: A) Reservatório coberto por um plástico de efeito de estufa B) Reservatório na caixa de isopor e com farelo de isopor; C) Isolamento dos tubos e mangueiras.	56
Figura 37. Os Três coletores em cima do único cavalete de madeira com a mesma inclinação (38°C) e exposição ao sol.	57
Figura 38. Calibração dos termômetros com auxílio de um banho-maria e um termohigrômetro (UR e T°C).	58
Figura 39. Curvas de calibração dos sensores de temperatura	62
Figura 40. Comportamento temporal da umidade relativa do ar; temperatura do ambiente e temperatura interna de cada coletores durante período de coleta de dados.	64
Figura 41. Comportamento da Temperatura média da água no boiler de cada Aquecedor durante o período de coleta de dados.	65

LISTA DE TABELAS E QUADROS.

Tabela 1. Oferta e demanda mundial – Produção-soja mundo-milhões de toneladas.....	14
Tabela 2. Destino da gordura de bovina no Brasil em % - 2000 e 2007.	18
Tabela 3- Calibração dos sensores de temperatura:	59
Tabela 4. Temperatura media interna de cada coletor e da água aquecida para cada aquecedor.....	64
Tabela 5. Temperatura da água aquecida para cada aquecedor e a cada horário de coleta.....	66
Tabela 6. Interação entre os fatores aquecedores e horário (h) de coleta para a variável temperatura (oC) da água.....	67
Tabela 7. Variação horária da radiação solar total, Radiação solar incidente no coletor, energia acumulada no líquido e eficiência do coletor solar.	68
Tabela 8- Energia acumulada na água aquecida para cada aquecedor, a cada horário de coleta.....	69
Quadro 1. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela USP de PIRACICABA.	71
Quadro 2. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela CELESC.....	72
Quadro 3. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela UFSC.	72
Quadro 4. Calculo do Retorno do investimento (Payback) do Aquecedor-1 (USP) e do Aquecedor-2 (CELESC).	73
Quadro 5. Calcula do Retorno do investimento (Payback) do Aquecedor-3 (UFSC)	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Aquecedor-1 (USP): Aquecedor desenvolvido pela USP

Aquecedor-2 (CELESC): Aquecedor desenvolvido pela CELESC

Aquecedor-3 (UFSC): Aquecedor desenvolvido pela UFSC

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis;

B5 - Mistura contendo 5% biodiesel e 95% diesel

B7 - Mistura contendo 7% biodiesel e 93% diesel

B10 - Mistura contendo 10% biodiesel e 90% diesel

B100 - 100% biodiesel

CCA - Centro de Ciências Agrárias

CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO

CV: Coeficiente de Variância

DEPEC – DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS

EFAE - Estação de Fontes Alternativas de Energia

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

ENR: Engenharia Rural

EPE, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA.

EPIA: European Photovoltaic Industry Association

G-Óleo - Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel

LMMM: Laboratório Mecanização, Maquinas e Motores

MME - Ministério de Minas de Energia

PNPB - Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

Pronaf - Programa Nacional de Agricultura Familiar

SNA: SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA

UFLA - Universidade Federal de Lavras

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

WWF- World Wildlife Fund

RESUMO

Atualmente, a matriz energética mundial é dominada pelos combustíveis fósseis como o carvão, petróleo, gás natural, entre outros. Sabendo que estas, em geral, são mais baratas, representam entraves para o mundo, pelo fato de não ser uma energia renovável e/ou sustentável e causam danos ambientais na sua extração e combustão de forma exagerada. Criaram-se vários programas e eventos internacionais e nacionais visando o incentivo de projetos na produção de biodiesel, etanol e aproveitamento de outras fontes alternativas como sol, vento, marés etc., com a finalidade de aumentar a participação destas fontes na matriz energética mundial e diminuir a dependência energética de combustíveis fósseis, os quais são poluentes. A discussão atual é sobre qual tipo de fonte renovável e/ou oleaginosa a ser industrializada e qual tipo de processos para obtenção da mesma. Partindo deste pressuposto, o objetivo principal deste estudo foi avaliar duas áreas de fontes renováveis de produção de energia limpa sendo a primeira com biodiesel e a segunda com coletor solar. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-Óleo) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a segunda etapa foi realizada na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) pertencente ao Laboratório de Mecânica, Motores e Máquinas (ENR/CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Na primeira etapa foi feita coleta de óleos residuais em residências, restaurante universitário, restaurantes públicos, hotéis etc. no município de Lavras/MG. Acompanhou-se também as atividades na cadeia de produção de biodiesel, como a extração mecânica de óleo da semente de *Moringa oleífera* em prensa contínua tipo Expeller e a extração química com Extratores tipo Soxhlet que possibilitou obter a quantidade de óleo restante na torta. Também, realizou-se análises físico-químicas do óleo (índice de acidez, índice de peróxido) e a transesterificação do óleo de Moringa obtido para produção de biodiesel. Na segunda etapa foi construído e avaliado o desempenho de três (3) coletores (aquecedores) solares, sendo, um desenvolvido pela USP/PIRACICABA, um pela CELESC e o terceiro pela UFSC. Neste experimento foi realizada a calibração de sete sensores de temperaturas em um equipamento (Banho Maria) do Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais

(ENR/CCA), onde obteve-se suas respectivas equações e curvas de calibração. Foi analisada, a temperatura média da água aquecida, obtendo-se o valor de 35,8°C, 34,3°C e 33,8°C e a energia média acumulada da água aquecida para cada aquecedor foi de 158,84W, 137,04W e 141,27W para o aquecedor solar desenvolvido pela USP, CELESC e UFSC respectivamente. O custo de implantação dos aquecedores (USP e CELESC) foi de R\$350,00 e o custo de implantação do aquecedor UFSC foi de R\$389,00.

Palavras-Chave: Energia Alternativa, Moringa, extração de óleo, energia solar, temperatura.

1. INTRODUÇÃO

A vida se manifesta a partir da geração de energia. Todos os processos de produção e manutenção estão sustentados por uma fonte de energia, desde a mitocôndria da célula até funcionamento das Megalópoles e grandes usinas. O mundo com o “crescimento” econômico e o “desenvolvimento” sociotecnológico, esta dependendo cada vez mais da produção de energia o que gera uma pressão de maneira exponencial sobre as fontes de energias fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo) não renováveis.

A queima exaustiva de combustíveis fósseis contribui para uma série de problemas socioambientais como mutação gênica, poluição, efeito de estufa, etc. Além disso, várias crises políticas, econômicas e, conseqüentemente o aumento do preço dos derivados de combustíveis fósseis tiveram impactos negativos sobre o poder aquisitivo dos consumidores. (BEEDLOW et al., 2004).

A partir da crise petrolífera de 1973, os países do primeiro até do terceiro mundo, estão fazendo esforços com intuito de aumentar a eficiência energética e o uso de outras fontes alternativas tais como a energia solar, eólicas, biomassa e das marés, através das pesquisas, etc. (JEOCAZ et al., 2009).

De acordo com o departamento de pesquisa da Petrobras, o petróleo e seus derivados emitem maior quantidade (grama) de CO₂ por km do que o biodiesel, e não apresentam compensação significativa pela fotossíntese. A gasolina emite em torno de 225g/km, o biodiesel 110g/km. Porém, sua compensação pela fotossíntese é maior do que sua produção de CO₂ (PETROBRAS, 2015).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2015), atualmente a energia gerada pelo uso de fontes alternativas, é insignificante e poderia aproveitar bem melhor as potencialidades dos recursos energéticos renováveis disponíveis. No período de 2006 a 2010 o Brasil estava em sétimo lugar com a capacidade de produzir 30, 6% de energia gerada no país e 3% no mundo. Para geração de energia, o país ficou em sexto lugar com o aumento da sua produção, sendo, a fonte mais usada apenas da biomassa (lenha, bagaço de cana e lixo) e eólica.

No entanto, após assinatura do Protocolo de Kyoto no final dos anos 90 e ratificação do Tratado em 2005, o compromisso está assumido pelos países em desenvolvimento para redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) através do famoso “mercado da energia verde”. Portanto, este tratado enfatiza a implementação de usinas abastecidas por fontes renováveis que reduzem as emissões de gases causadores do efeito estufa na atmosfera (ANEEL, 2015).

Este cenário mundial é semelhante no Brasil, em que as fontes convencionais mais usadas são os fósseis (EPE, 2014). Segundo VAN HAANDEL e LETTINGA (1994) para proteger a vida dos seres vivos e preservar o meio ambiente, há uma necessidade de substituição do petróleo e seus derivados, e também um incentivo do tratamento de resíduos produzidos gerados pelas diferentes atividades industriais, urbanas e do campo. As políticas públicas incentivam também a sensibilização sobre a racionalização do uso de energia elétrica. Esta substituição faz com que as pesquisas do país se concentrem sobre o potencial energético de algumas fontes tais como: álcool, etanol, metanol, xisto etc. (DEGANUTTI et al., 2002).

Para cumprir essa responsabilidade é fundamental que o país, desenvolva tecnologias eficientes e eficazes, socialmente aceitável, economicamente viável e ambientalmente sustentável para geração de energia limpa. Pois, dentro de todas as alternativas que se enquadram nesta nova era de política energética mundial, destacam-se biodiesel e a energia solar. O Biodiesel é produzido a partir de plantas oleaginosas e gorduras animais. Esta fonte de energia está em expansão e é promissora no âmbito mundial e nacional. A outra é o uso de energia solar a partir de coletor solar para alimentar aparelhos domésticos como chuveiro, torneira e até piscinas térmicas.

Este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido em duas etapas. A primeira etapa foi realizada no Laboratório G-Óleo – Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biocombustíveis, da Universidade Federal de Lavras (UFLA) no período de 19 de janeiro até 06 de março de 2015. Esta parte teve como objetivo principal, acompanhar a coleta de óleos residuais em diferentes locais e acompanhar as pesquisas e funcionamento do laboratório na área de fontes renováveis de energia com enfoque na produção de Biodiesel a

partir de óleo vegetal e gorduras animais, particularmente com semente de Moringa. O estágio foi supervisionado pelo prof. Pedro Castro Neto.

A primeira etapa deste estágio proporcionou uma visão geral sobre: Coleta de óleos residuais (reciclar, tratar, transportar; armazenar, etc.); Caracterização dos Processos Físicos e Químicos de Extração de óleo residuais, gorduras e oleaginosas; Produção e Classificação do Biodiesel; Reciclagem e Destino dos resíduos da produção de Biodiesel; Caracterização do uso de diferentes máquinas e implementos utilizados na produção de Biodiesel.

A segunda etapa foi desenvolvida na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) do Laboratório de Mecânica, Maquinas e Motores (ENR/CCA/UFSC) no período de 13 de abril a 16 de junho de 2015 e teve como objetivo principal construir e avaliar o desempenho de três (3) tipos de coletores solar, supervisionado pelo prof. Alberto Kazushi Nagaoka.

O estágio em ambas as instituições foi possível graças aos trabalhos realizados no laboratório de Mecânica, Maquinas e Motores do departamento da Engenharia Rural (ENR/CCA) da UFSC e o apoio do orientador prof. Alberto Kazushi Nagaoka. Para as duas universidades (UFLA e UFSC) é uma forma de manter os laços institucionais, a troca de experiências e o fortalecimento do potencial de conhecimento teórico e prático dos alunos, permitindo uma atualização do conhecimento.

Este relatório contém a apresentação dos trabalhos realizados nos dois laboratórios com suas razões sociais, endereço, histórico resumido, nº de membros, ramo de atividade, visão, missão e valores. Na sequência é apresentado o desenvolvimento do tema, contendo a descrição e documentação de todas as atividades desenvolvidas no estágio. Nas considerações finais descreve-se as avaliações e conclusões quanto à experiência vivida e, por último, são apresentados os anexos.

2. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO DA PRIMEIRA ETAPA DO ESTÁGIO

O G-Óleo – Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais e Biocombustíveis- da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situado no LABORATORIO DE ÓLEOS, Campus da UFLA, Caixa Postal 3037; Telefone: (35) 3829-1104 / 5272; P LAVRAS - MG, CEP: 37200-000. Este núcleo foi fundado em

2006, com objetivo principal de desenvolver projetos de pesquisa e extensão, como atividades de campo, plantio, colheita, análise laboratorial, projeto e montagem de máquinas industriais e desenvolvimento de sistemas computacionais. Outro foco importante do Núcleo é a produção de matérias primas, graxas para produção de biodiesel a partir de matérias primas residual, como óleos e gorduras já utilizados em processos de produção de alimentos e processamento de resíduo do abate de animais. O “G-Óleo” é uma associação civil sem fins lucrativos, coordenada pelos professores Pedro Castro Neto e Antônio Carlos Fraga, vinculado respectivamente ao Departamento de Engenharia e Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (Figura 1).

Figura 1. Laboratório de G-Óleo, UFLA:



Fonte: Autor; 2015.

Este Núcleo de Estudo é subdividido em coordenadorias geral, administrativa, técnica científica, máquinas agrícolas, química, tecnologia da informação, coleta, mecânica, fitotecnia e de extração.

Há seis anos, o G-Óleo organizou o Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, o maior evento científico nacional da cadeia produtiva de biodiesel. Atualmente é composto por 2 professores e 27 graduandos de diversos cursos da UFLA.

Os ramos de atividades são: Produção de óleo, fertilizante orgânico, rações, desenvolvimento de maquinário para atividades exercidas pelo grupo. A Visão do Núcleo é: Tentar levar o máximo de tecnologia e conhecimento ao

agricultor para melhorar e aumentar a sua produção na área de oleaginosa. A Missão do Núcleo é: Aproveitamento e uso de recursos ao máximo sem que haja resíduos, ou seja, resíduo zero. Os Valores são: Comprometimento com o seu trabalho e a comunidade, proatividade, honestidade.

3. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO DA SEGUNDA ETAPA DO ESTÁGIO

A segunda parte do estágio foi realizada na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pertencente ao Laboratório de Mecânica, Motores e Máquinas - LMMM/CCA da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), fica localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina situada na Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, Florianópolis – SC Cx. P 476 CEP 88034-000. Este Laboratório foi inaugurado em 2006, com objetivo principal de desenvolver projetos de equipar com material para aulas práticas, pesquisa e extensão, análise laboratorial, projeto e montagem de máquinas e implementos agrícolas. Outro foco importante do Laboratório é a geração de energia a partir de matérias primas residual e fontes sustentáveis, como sol, vento, biodigestor, etc.

O “LMMM” é uma entidade publica sem fins lucrativos, coordenada pelos professores Alberto Kazushi Nagaoka e Fernando Cesar Bauer, vinculado ao Departamento de Engenharia Rural da UFSC, composto atualmente de dois professores e 12 graduandos (Figura 2).

Figura 2. EFAE e LMMM do CCA/UFSC.



Fonte: Autor; 2015.

4. OBJETIVOS

4.1- Objetivo Geral

Participar e Analisar pesquisas na área de fontes renováveis de produção de energia limpa com biodiesel e coletores solar.

4.2 Objetivos Específicos

4.2.1 Acompanhar e participar pesquisas do laboratório na área de produção de biodiesel a partir de óleo vegetal e gorduras animais

- Acompanhar a coleta de óleos residuais (reciclar, transporte; armazenamento);
- Caracterizar os Processos Físicos e Químicos de Extração de óleo residuais, gorduras e oleaginosa (moringa)
- Avaliar a produção e classificação do Biodiesel;
- Entender e acompanhar a reciclagem e destino dos resíduos da produção de Biodiesel;
- Caracterizar o uso de diferentes maquina e equipamentos incluídos na produção de Biodiesel;

4.2.2- Construir e avaliar o desempenho de três (3) tipos de coletores solares.

- Quantificar a temperatura da água nos diferentes coletores para as mesmas insolações e horas do dia;
- Monitorar o tempo de insolação e o fluxo da água durante a coleta;
- Comparar o desempenho de cada um dos coletores em diferentes temperaturas nos coletores e em diferentes horas do dia;
- Avaliar o tempo médio para que se inicie o aquecimento da água.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-BIODIESEL

5.1- Biodiesel no Mundo e no Brasil

Desde o início do século XX, antes das crises do petróleo nas décadas de 1970 e 1990, os óleos vegetais já foram usados como combustíveis em motores de combustão. Em 1895, o óleo de amendoim foi colocado em motores por Rudolf Diesel. Em seguida outros óleos vegetais brutos foram utilizados bastante em situações de emergência entre 1930 a 1940 (SHAY, 1993; JUAN, 2003; BIODIESELBR, 2015).

Segundo Chang e Wan (1947), em vários países, já foram feito o craqueamento do óleo de tungue para produzir hidrocarbonetos semelhantes ao diesel de petróleo (china) e pirólise de diferentes triglicerídeos. Na mesma época, a partir da combinação alcoolize de triglicerídeos foi feita a esterificação com ácidos graxos livres e transesterificação de óleos ou gorduras, justificado pela queda de produção e abastecimento de petróleo e seus derivados (POUSA et al., 2007)

Segundo Parente (2003), durante e após a crise de petróleo na década de 1970 os países entram na busca de outras fontes alternativas de energia. Esta preocupação permite realçar as questões ambientais que sempre foram marginalizadas, como aquecimento global causado pela emissão de Dióxido de Carbono (CO₂) na atmosfera. Partindo deste pressuposto, o biodiesel apresenta características relevantes para substituir parcial ou totalmente, o diesel fóssil pelo fato de poluir menos e ser renovável, ou seja, produzido a partir de óleo vegetal e gorduras animais.

É correto dizer que o cenário internacional não é diferente do Brasil, pois desde 1940 diversas tentativas foram feitas tanto no uso de óleo puro e gorduras nos motores, como craqueamento térmico de triglicerídeos para produção de hidrocarbonetos. Vale ressaltar, que nesta época, devido à Segunda Guerra Mundial, o governo federal proibiu a exportação de óleo de algodão no sentido de aumentar sua oferta no mercado nacional e enfatizar seu uso como combustível. Em 1980 a Comissão Nacional de Energia, elaborou o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (PRO-ÓLEO) a partir de transesterificação

de óleos vegetais (resolução nº 007 de outubro de 1980). Este programa sobreviveu até 1986 (POUSA et al., 2007).

Após várias discussões entre os interessados e tentativas, o Brasil adotou em 2002 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, PNPB (pelo decreto nº 702 de 30 de outubro de 2002) para substituir gradativamente o diesel fóssil por ésteres de ácido graxos. Este programa obrigou a adoção de B5, ou seja, de 5% de biodiesel e 95% de diesel fóssil, até 2005. Pois, deverá haver 20% de Biodiesel em 2020 no combustível (PNPB, 2014).

O PNPB apresenta vantagens socioeconômicas e ambiental de tal forma que está promovendo inclusão da Agricultura Familiar vinculada através das cooperativas e como do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – PRONAF. Dessa forma 28.656 famílias em 2008 e 104.295 famílias em 2011 foram beneficiadas pelo Programa. A renda entre as famílias era de R\$ 8,5 bilhões entre 2008 e 2013, enquanto que em 2013 apenas 85 mil famílias participaram do Programa com uma renda de R\$ 2,9 bilhões.

Em 2015, a produção de biodiesel, nas indústrias apresentou uma proporção das matérias-primas de 80% de óleo de soja e 20% de sebo de bovino, devido ao aumento de B5 (5% de biodiesel misturado ao diesel) para B7 (7%) e o preço por kg de soja esta mais barato do que o kg de sebo de bovino. Ainda, está previsto que a produção poderá registrar um aumento de 30%, ou seja, ocorrerá esmagamento de 18 milhões de toneladas de soja para produzir 4,4 bilhões de litros. No ano passado foi comercializado 3,46 bilhões de litros do produto com uma proporção de 70% de óleo de soja e 30 % de sebo de bovino. A participação das matérias-primas no contexto nacional, manteve-se praticamente estável, com o óleo de soja respondendo por 75% de todo biodiesel fabricado no Brasil, seguido das gorduras animais (21%) e do óleo de algodão (2%) (ANEEL, 2015).

5.2- Matérias Primas de Diferentes Culturas e Gorduras Animais e suas Potencialidades na Produção do Biodiesel.

No que concerne as fontes de matérias primas para produção de biodiesel, o Brasil, país gigante, apresenta ótimas condições e grande diversidade edafoclimática para a cultura de oleaginosas, com viabilidade econômico-social e ambientalmente sustentável. As principais culturas são; a soja, a mamona, o

dendê e o girassol, seguido pelas culturas que são usadas para outras finalidades o amendoim, a canola, o coco, o babaçu e o algodão. Além disso, ainda tem o pinhão manso, o nabo forrageiro, o pequi, o buriti e a macaúba, com grande potencial (ANUÁRIO BRASILEIRO DA AGROENERGIA, 2006).

Vale ressaltar que, deve-se levar em consideração as potencialidades das culturas em cada região, as condições agronômicas necessidades e a área propícia a cada cultura para produzir 1000 toneladas de óleo combustível (Tabela 1). É fundamental considerar os aspectos industrial, econômico, ambiental e social, de cada região e verificar quais as culturas que devem ter seu uso priorizado na agricultura (ANUÁRIO BRASILEIRO DA AGROENERGIA, 2006).

Tabela 1. Características de algumas Culturas oleaginosas quanto ao teor de óleo, demanda de área para produção de 1.000 t de óleo, numero de meses de colheita e rendimento de óleo por hectare.

Espécie	Teor de Óleo (%)	Demanda de área média cultivada (ha) para produzir 1.000 t de óleo	Meses de Colheita/ano	Rendimento (t óleo/ha)
Dendê/Palma	22,0	200	12	3,0 a 6,0
Coco	55,0 a 60,0	550	12	1,3 a 1,9
Babaçu	66,0	8.900	12	0,1 a 0,3
Girassol	38,0 a 48,0	1.090	3	0,5 a 1,9
Colza/Canola	40,0 a 48,0	1.430	3	0,5 a 0,9
Mamona	45,0 a 50,0	1.400	3	0,5 a 0,9
Amendoim	40,0 a 43,0	1.420	3	0,6 a 0,8
Soja	18,0	2.850	3	0,2 a 0,4
Algodão	15,0	6.250	3	0,1 a 0,2

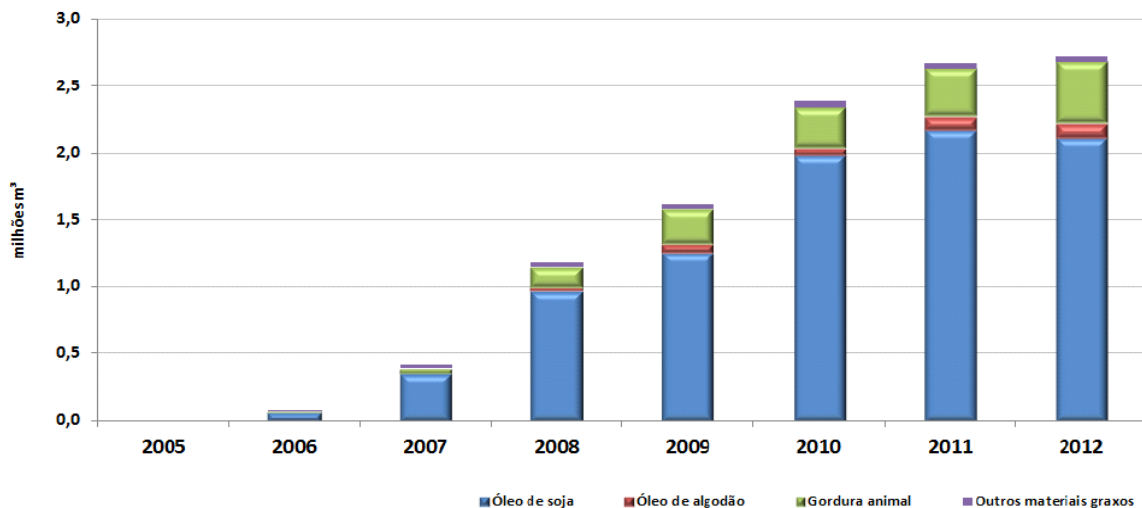
Fonte: BRASIL (2005) e ANUÁRIO BRASILEIRO DA AGROENERGIA (2006).

Observa-se que apesar de grandes expectativas iniciais do programa que visa contribuir nas melhorias da qualidade de vida das regiões mais pobre e a grande variedade de matéria prima do Brasil; a produção de biodiesel ainda é concentrada na soja e gordura animal. Esta predominância, ocorre devido que o óleo de soja e a gordura animal são de menor custo e são respectivamente subprodutos da produção de farelo de soja para exportação e carne no país (ANUÁRIO BRASILEIRO DA AGROENERGIA, 2006).

Em 2012 o consumo de óleo de soja, óleo de algodão e gordura animal foram respectivamente 2,1 milhões de toneladas, 117,00 mil m³ e 458 mil m³. A

soja houve um decréscimo de 3%, o óleo de algodão um aumento de 19% e a gordura animal um aumento em cerca de 28% em relação ao ano 2011 (Figura 3) (Agência Nacional do Petróleo, 2013).

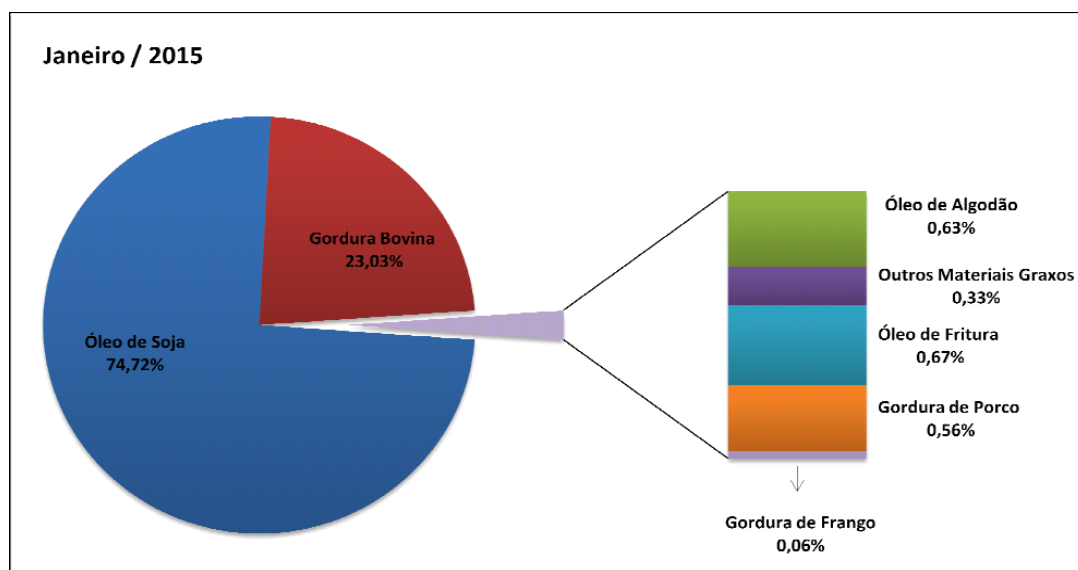
Figura 3. Matéria prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil de 2005 a 2012.



Fonte: ANP: 2013

O percentual de matéria prima utilizada na produção de biodiesel durante o mês de janeiro 2015 mostra claramente a forte participação de óleo de soja (74,72%) e gordura animal (23,03%) (Figura 4).

Figura 4. Matérias primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil durante o mês de janeiro 2015.



Fonte: ANP: 2015

Sendo que o aumento do percentual de biodiesel de B5 para B7 (7% de biodiesel) ao óleo diesel em 2014 deve propiciar melhor aproveitamento de matérias primas potenciais e maiores utilizações de capacidade instalada de produção sem causar grandes alterações no processo produtivo.

5.2.1- Características gerais das duas matérias primas (soja e gordura animal) utilizadas na produção de biodiesel.

5.2.1.1- Soja (*Glycine Max*)

A cultura da soja, é a principal oleaginosa produzida no mundo, teve sua origem na região de clima temperado e entrou no Brasil pelo São Paulo através do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), em 1882. Mas, foi adaptada em climas subtropical e tropical, graças às pesquisas que foram feitas no melhoramento genético da planta, a partir de 1892 (EMBRAPA SOJA e AGROLINK, 2012).

A produção da soja aumentou nos decorrer dos anos, pelo seu potencial de produção, adaptação, pela necessidade de produzir alimentos (para aves e suínos) e por ter apresentado uma opção de verão (trigo no inverno). Cerca de 98% era produzida pelos três Estados do Sul. Na década de 70, pelo aumento do preço da soja no mundo internacional, o país passou a investir mais em tecnologia e pesquisa e aumentou a sua área de produção. (EMBRAPA SOJA e AGROLINK, 2012).

De 2008 a 2014, o Brasil foi o segundo maior produtor de soja no mundo perdendo apenas pelos Estados Unidos, e seguido pela Argentina em terceiro. Visto que, estes três países produzem mais de 80% da produção mundial de soja (CONAB, 2015). O país, com 30,1 milhões de ha plantadas na safra 2013/2014, apresentou um acréscimo de 9,5% (8,16 milhões de toneladas), com uma produtividade de 2.842 kg/ha e com uma produção de 87,5 milhões de toneladas (Tabela 2) (Embrapa Soja, 2014; CONAB, 2015).

Tabela 2. Oferta e demanda mundial – Produção-soja mundo-milhões de toneladas.

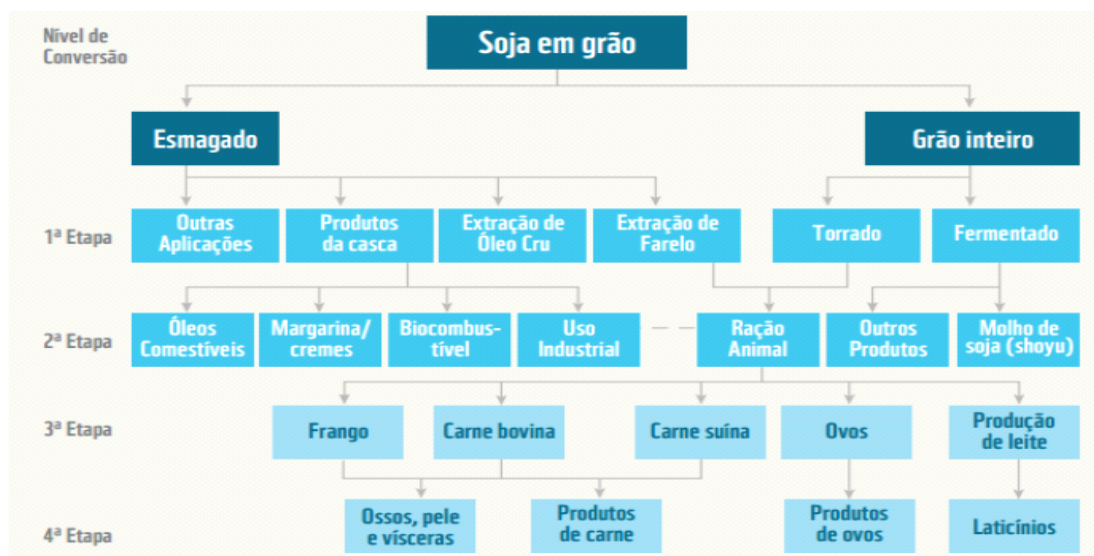
País/Safra	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/2014	2014/2015
Brasil	69,00	75,30	66,50	82,00	87,50	91,00
Estados Unidos	91,42	90,61	84,19	82,56	89,51	103,42
Argentina	54,50	49,00	40,10	49,30	54,00	54,00
China	14,98	15,08	14,49	13,05	12,20	12,00
Índia	9,70	9,80	11,00	11,50	11,00	11,60
Paraguai	6,46	7,13	4,04	8,30	8,10	8,20
Canadá	3,58	4,45	4,30	5,09	5,20	6,12
Outros	10,96	12,79	14,91	16,06	16,28	18,45
Total	260,60	264,15	239,53	267,85	283,79	304,79

Fonte: CONAB, 2015.

Do total da área plantada por grãos, cerca de 49% é de soja. Verificou-se com uma expansão maior nas regiões Centro-Oeste e Norte, devido à disponibilidade de terras (ex: pastagens) e substituição de lavouras e por ser uma cultura agrícola com maior crescimento de renda. Esta expansão ocorreu em regiões que apresentam grande potencial produtivo (cerrados) com condições climáticas e topográficas favoráveis. Percebemos que, seu uso em pequena área de terra agriculturável ficou inviável para produção de biodiesel.

Seus produtos e subprodutos estão bem representados na alimentação humana e animal com teor de proteína em torno de 40%. Possui qualidade farmacêutica, ou seja, anticancerígena com presença de isoflavonas na sua composição química; rica em ácidos graxos, compostos fitoquímicos e proteínas de boa qualidade. A soja é um produto que faz parte do cotidiano, é usada em ampla escala nas indústrias de adesivos e nutrientes, alimentação animal, adubos, formulador de espumas, etc. No entanto, hoje em dia, com cerca de 18% de óleo, seu uso mais conhecido, é como óleo refinado, obtido a partir do óleo bruto, posteriormente a lecitina, um agente emulsificante, e de atualmente produz o Biodiesel (SLUSZZ et al., 2006).

A soja colhida é dividida basicamente em duas partes; a primeira ou a maior parte é moída e transformada em farelo para alimentação (ração) de animal. A segunda parte, o óleo é destinado para alimentação humana, indústrias cosméticas e sabonetes, e hoje em dia, cada vez mais direcionada para produção de Biodiesel (GARCILASSO e WWF, 2014). A Figura 5 apresenta o fluxograma dos produtos derivados da soja.

Figura 5. Fluxograma dos produtos derivados da soja.

Fonte: WWF, 2014.

Percebe-se que, para a obtenção dos subprodutos como a farinha de soja e/ou óleo, deve realizar o processamento dos grãos. Pois, isto abrange desde o recebimento das sementes, seu armazenamento, sua preparação, a produção da farinha, e finalmente extração do óleo propriamente dita. Na extração é realizada em processo contínuo e complexo para obter-se um produto mais uniforme e visando minimização dos custos, exigindo máquinas e equipamentos adequados, fluxos de solventes, vapor, temperaturas, vácuos entre outros.

De acordo com WWF (2014), apenas 2% do óleo de soja produzida é destinada a produção de Biodiesel, cuja, a maior parte é destinada para alimentação humana e animal na forma de ração.

5.2.1.2- Gordura Animal

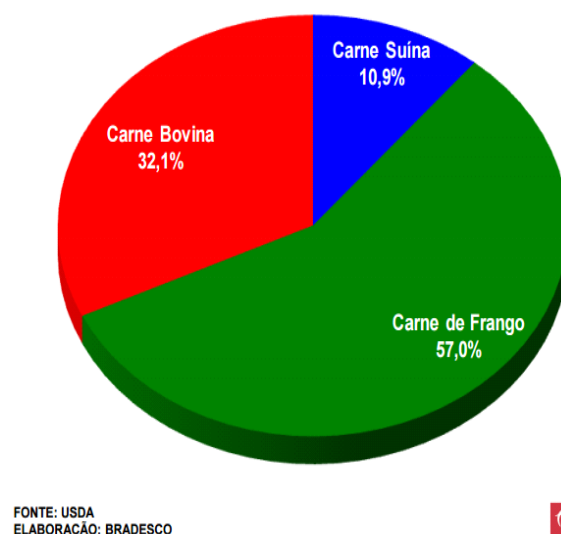
Podem ser aproveitados resíduos como o sebo bovino, a banha do porco e óleo de aves, peixes e mocotó. A grande quantidade, o baixo custo e a disponibilidade imediata de gorduras animais na agroindústria favorece o processo de produção de biodiesel e consequentemente uma redução de impactos ambientais. O rendimento do processo de conversão dessas matérias-primas é de 65% a 70%, ou seja, cada quilo de resíduos gera em torno de 0,65 a 0,70 l de biocombustível (FATEC, 2015).

Segundo a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA), no Brasil, em 2014, a receita anual foi de R\$ 5,8 bilhões e processamento de 12 milhões de toneladas de resíduos do abate animal, o equivalente a 3,4 milhões de toneladas de farinhas de osso e sangue e 1,4 milhão de toneladas de sebo. Porém, devido ao aumento dos custos de produção (energia elétrica, gás, água e combustível) é previsto uma redução na coleta da matéria prima (ossos e gordura) desde novembro do ano passado (SNA, 2015).

O biodiesel obtido a partir da gordura animal apresenta as seguintes vantagens: a) maior número de cetano (que mede a qualidade de ignição de um combustível para máquinas diesel); b) Influência direta na partida do motor e no seu funcionamento sob carga; c) Maior estabilidade de oxidação e menor índice de iodo (que indica a quantidade de instaurações presente na gordura). As desvantagens são: a) Número elevado de ácidos graxos livres (formação de sabões); b) Solidificação em temperatura ambiente; e Percentual de enxofre maior que o encontrado nos óleos vegetais na preparação do biodiesel. Segundo FATEC (2015), o percentual de ácidos graxos livres não deve ser maior que 3% para que ter um melhor rendimento no processo de produção de biodiesel.

Na produção de Biodiesel, a gordura animal esta representado pela sua maior parte por gordura de bovino. Isto é devido a expansão das atividades pecuária e pelas suas propriedades de produzir biodiesel semelhante ao de soja. Nos últimos anos o Brasil alcançou excelentes índices de produção e exportação de carne bovina. Este sucesso da pecuária de corte se deve, dentre outros fatores, à qualidade do sistema produtivo nacional e à confiança crescente no conceito de alimento saudável, especialmente pela produção de carne de qualidade (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2007).

Segundo o Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos (DEPEC, 2015) a produção nacional da carne bovina em 2014 ficou em segundo lugar com 32,1%, com a carne de frango, primeiro lugar 57,0% e em terceiro a carne suína com 10,9% (Figura 6).

Figura 6. Participação na produção nacional do complexo carnes – 2014.

Todas as partes do bovino são aproveitadas e tem valor comercial devido ao múltiplo fracionamento. Os subprodutos são divididos e destinados nas e para diferentes indústrias em couro pela indústria de calçados; glândulas farmacêuticas e a gordura para produção de sabão e sabonete além de forte demanda energética (Biodiesel). Então, o resíduo seco composto por ossos triturados aparta de carne e vísceras moídas, é industrializada para produção de ração animal.

No entanto a extração de gordura é feita por prensagem ou centrifugada a partir de resíduos do abate gerados nos cortes, na limpeza da carcaça, dos ossos, vísceras e resíduos gordurosos que tem na água de lavagem de todo o processamento (Bueno et al., 2012).

Sabendo que a gordura representa 5% do peso vivo do boi abatido (Martins et al., 2011). Podemos enfatizar que em 2013, foi abatido 34,4 milhões de cabeça, com peso médio de 450kg, gerava 774 mil toneladas de gorduras.

Segundo Bueno et al., (2012) o destino da gordura bovina em 2000, era de 70% para as indústrias de sabão e sabonete, visto que o restante é destinado para a ração animal e combustível (caldeiras). Pois em 2007, com a produção de Biodiesel de 12% (devido a implantação do PNPB em 2003) e óleo-químico, essa indústria (sabonete e sabão) passa a recebe 61% de gordura bovina Tabela 3.

Tabela 3. Destino da gordura de bovina no Brasil em % - 2000 e 2007.

Segmentos	2000	2007
Higiene e limpeza	70	61
Combustível	15	4
Ração animal	10	10
Óleoquímica	0	13
Biodiesel	0	12

Fonte: Matins et al., 2011.

6- ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS DAS ROTAS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL

A transesterificação, esterificação e o craqueamento catalítico, são três processos tecnológicos ou processos químicos, utilizados para obtenção de biodiesel, dominados pela pesquisa. Pois, o processo de transesterificação é preferível que a esterificação devido a maior disponibilidade de matérias primas naturais ricas em triglicerídeos, mas o processo de esterificação tem sua importância por ser um processo alternativo, pois possibilita a utilização de matérias ricas em ácidos livres presentes em resíduos e subprodutos de processamentos indústrias de biomassa, destacando os óleos brutos, borras ácidas, óleos usados em frituras e ainda produtos de origem animal, como a banha ou sebo (VIEIRA, 2011).

6.1- Transesterificação de Óleos Vegetais e Gordura Animal

A reação química que efetivamente está relacionada à transformação de óleos ou gorduras de origem vegetal ou animal, com álcoois de cadeia curta em biodiesel é conhecida como reação de transesterificação. Devido a sua versatilidade, ela é utilizada em muitos processos industriais conhecidos e explorados há muitos anos. Pois, conhecida também como alcoólise é amplamente utilizada para a produção de monoésteres alquílicos de ácidos graxos (biodiesel). Essa reação ocorre na presença de catalisadores e o controle dos parâmetros de reação e da qualidade das matérias-primas são aspectos fundamentais que devem ser considerados (MENEGHETTI et al., 2013)

No Brasil e no mundo, a transesterificação de triacilglicerídeos é mais utilizada industrialmente para obtenção de biodiesel, a partir de óleos vegetais e gorduras animais (ex; sebo bovino e óleo de soja), sendo que, atualmente, essas

duas matérias-primas são largamente empregadas para produção de biodiesel no Brasil. Um aspecto importante a salientar é que o biodiesel também pode ser produzido a partir de matérias-primas residuais ricas em triacilglicídeos, tais como os óleos de fritura ou resíduos industriais ou urbanos, o que sem dúvida gera um impacto positivo em questões ambientais (MENEGETTI et al., 2013). A transesterificação ocorre quando um triglicerídeo reage com álcool na razão molar 1:3, formando ésteres e glicerol. Inicialmente é formada a espécie ativa (alcóoxido) pela reação do álcool com a base de Brønsted. A partir de um rearranjo destes intermediários, há a formação de um éster e outro alcóxido, o qual, após a desprotonação do ácido conjugado da base, regenera a base de partida. Esse mecanismo ocorre sucessivamente, até que praticamente todos os tri-, di- e monoacilglicídeos sejam transformados em ésteres alquílicos e glicerol (Figura 7 e Figura 8) (MENEGETTI et al., 2013).

Figura 7. Esquema da reação de transesterificação.

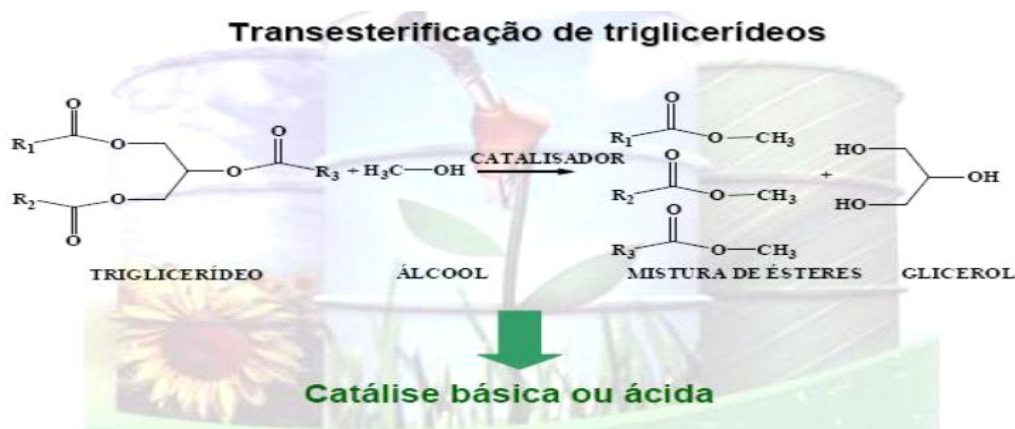
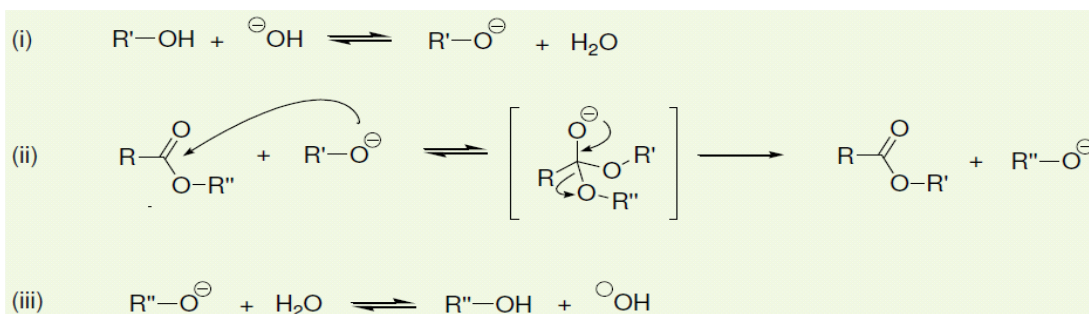


Figura 8. Mecanismo aceito para a transesterificação de triglicerídeos, onde B é uma base de Brønsted.



6.2- Esterificação de Ácidos Graxos

A reação de esterificação permite obter Biodiesel a partir de material graxo (como exemplo, gorduras de esgoto, óleos de frituras) de alta concentração de ácidos graxos livres (até 15%) difícil de obter por processo de transesterificação. Também, esta reação, além da inconveniente reação de saponificação (com ácido graxo livre é maior que 1%) pode provocar elevada corrosão de reatores, a lenta e incompleta separação dos ésteres da fase que contém glicerol. Partindo deste pressuposto, novas rotas para obtenção de Biodiesel tornam-se importantes principalmente quando o material está com altos teores de ácidos graxos livres (VIEIRA, 2011).

A reação de esterificação é um processo reversível, obtendo como produto principal um éster específico e água (Figura 9). Pois, nesta reação não há formação de glicerina. Dessa forma, sob aquecimento, um ácido carboxílico reage com um álcool (produzindo éster e água). Esta reação, quando processada em temperatura ambiente, é lenta, mas pode ser acelerada com o emprego de aquecimento e/ou catalisador que pode ser recuperado ao final da reação se torna útil para que o equilíbrio da reação seja estabelecido mais rapidamente (VIEIRA, 2011).

Figura 9. Esquema da reação de esterificação.



Os fatores como temperatura reacional, pureza dos reagentes (sem água), razão molar álcool/ácido graxo e concentração de catalisador podem afetar a velocidade da reação de esterificação (OLIVEIRA et al., 2010).

6.3- Craqueamento

O processo do craqueamento ocorre com a utilização de um reator, promove a quebra de moléculas de óleos vegetal ou gordura animal por aquecimento a

altas temperaturas e um catalisador é utilizado para remove os compostos oxigenados corrosivos que tornam o produto levemente ácido (VIEIRA, 2011). O craqueamento pode ser uma metodologia adequada à produção de biodiesel em pequenas localidades. No processo de craqueamento, há um gasto relativamente alto com energia térmica, uma vez que a quebra molecular ocorre a partir dos 350°C, e a produção é de pequena escala. O biodiesel produzido pelo craqueamento é quimicamente equivalente ao diesel obtido de petróleo, mas sem enxofre (ANUÁRIO BRASILEIRO DE AGROENERGIA, 2006). Este processo visa a conversão de óleos vegetais e gorduras em bio-óleo.

Quando este processo acontece na presença de moléculas de hidrogênio, ele é chamado de hidrocraqueamento, sendo produto final com H-Bio. Esse processo tem como principal vantagem a eliminação completa de produtos oxigenados no final da reação, o que dificilmente acontece apenas por craqueamento. A vantagem fundamental da eliminação total desses produtos é a diminuição do caráter oxidante da mistura, que pode levar a problemas de corrosão no motor (GARCILASSO, 2014). Segundo Queiroz et al. (2007), além de elevado custo dessa tecnologia principalmente no consumo de energia, este processo ocorre em pequena escala e não produz ésteres, pois não atende as especificação da Agencia Nacional de Petróleo.

6.4- Produção de Biodiesel e Subprodutos

É importante ressaltar que o biodiesel é biodegradável; produzido a partir de matérias primas renovável; não contém enxofre; diminui a emissão de particulados; as emissões de CO₂ são quase completamente absorvidas durante o cultivo da oleaginosa; o biodiesel não contém os carcinogênicos existentes no diesel; não é considerado um material perigoso; aumenta a vida útil do motor graças à sua capacidade superior de lubrificação (POUSA, 2007; PARENTE, 2003).

No final do século XIX, começou a história do Biodiesel, quando Rudolf Diesel descobriu que os óleos vegetais (amendoim) poderiam ser utilizados como combustíveis. Em 1896, durante a Exposição Mundial de Paris, Diesel demonstrou motor diesel funcionando e movido com óleo de amendoim, cuja, a eficiência foi

de 26% (GARCILASSO, 2014). Os primeiros motores tipo diesel eram de injeção indireta. Tais motores eram alimentados por petróleo filtrado, óleos vegetais e até mesmo por óleos de peixe. Vale lembrar, os óleos de origem vegetal e animal já eram utilizados mesmo antes do diesel provindo do petróleo. (ABREU, 2012; GAZZONI, s.d.).

O pai da biodiesel no Brasil foi o falecido, engenheiro químico brasileiro, Expedito José de Sá Parente, no final da década de 1970. Em 1980, ele desenvolveu o método de produção de biodiesel que viria a submeter ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), que foi patenteado em 1983. A Patente PI – 8007957 ("Processo de Produção de Combustíveis a partir de Frutos ou Sementes Oleaginosas"), foi a primeira patente no mundo para um processo de produção em escala industrial de biodiesel. Infelizmente nunca foi efetivamente utilizada, devido ao desinteresse do governo brasileiro na época e sua forte dedicação ao Pro-Álcool.

Acompanhando o movimento mundial, o Brasil dirigiu sua atenção no final da década de 1990 aos projetos destinados à pesquisa do biodiesel. No entanto, foi a partir do lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), em dezembro de 2004, pelo Governo Federal, que o biodiesel avançou significativamente, tornando-se um valioso instrumento de geração de riqueza e inclusão social.

Segundo artigo 4º da Lei nº 11.097, de janeiro de 2005, o Biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil" (BRASIL, 2005). Dessa forma, surgiu a maneira de mistura do biodiesel no diesel derivado do petróleo vendido ao consumidor, tais: B5 combustível que contenha 5% de biodiesel e 95% de diesel mineral, B10 é 10% biodiesel e 90% de diesel mineral e, assim, sucessivamente. Faz-se, pensa nesta lei não houve nenhuma restrição quanto a rota tecnológica para a sua síntese, quanto a transesterificação como a esterificação.

6.4.1- Subprodutos

A glicerina é o principal subproduto no processo de produção de biodiesel. É uma substância não tóxica e insolúvel em derivados de petróleo, é usada tanto na indústria de alimentos como nas indústrias de plásticos, de lubrificantes, de cosméticos, de fármacos, de química e de explosivos. Mas, a maior parte da glicerina consumida no Brasil é importada para suprir a demanda do mercado. As gomas, retiradas do óleo bruto antes da transesterificação, podem ser aproveitadas na produção de lecitina ou na indústria de rações animais. A borra originada na neutralização do óleo pode ser destinada a diversos processos de transformação, apresentando elevado valor comercial (PLÁ, 2002).

6.5- Extração por Prensagem Mecânica Helicoidal

Esta operação pode ser subdividida em alimentação, processamento e descarga. A operação se inicia com alimentação das sementes na prensa, onde são comprimidas e uma alta pressão que é responsável pela ruptura das paredes celulares e consequente liberação dos glóbulos de óleos. Posteriormente, o óleo é colhido na parte de frente com um recipiente de vidro e os sólidos finais seguem o eixo de prensa para serem descartados no trecho final, na parte de baixo da prensa. As suas vantagens em relação a extração por solvente são as seguintes: Baixo custo inicial de instalação; capacidade de processar grande quantidade de material; não utiliza solvente, o que leva a um menor custo de operação.

6.6- Extração Química

A extração química é uma alternativa à extração mecânica, o seu processamento leva à total extração do óleo presente nas sementes a ser processada. Seu resíduo final apresenta um percentual de gordura menor que 1%. É fundamental os grãos triturados, temperatura próxima ao ponto de ebulição de solvente, e umidade apropriada de material.

Os solventes mais utilizados são etanol, éter de petróleo e o n-hexano que é o solvente mais comumente utilizado nas indústrias. O n-hexano foi adotado por ser apolar, e ter baixo calor latente de ebulição, dissolver facilmente o óleo, etc. Porém há pontos negativos por ser inflamável explosivo e tóxico.

Este tipo de extração com solvente permite obter até 95% da massa de óleo presente nas sementes ou na torta após a extração por prensa mecânica.

6.7- *Moringa Oleifera*

A *Moringa oleifera* pode ser propagada, a partir de sementes ou de estacas. Adaptam-se bem até 2000 metros de altitude, as condições climáticas tanto do clima semi-árido como sub-úmido, é tolerante à seca e produz boa quantidade de óleo. A planta não apresenta exigências específicas em termos de tipos de solos a não ser a impossibilidade de se desenvolver em solos encharcados (OLIVEIRA et al., 2012).

Segundo OLIVEIRA et al. (2012), em geral, a *Moringa oleifera* frutifica no primeiro ano nas condições ideais de manejo. Nas regiões semi-áridas da África, a mesma frutifica a partir do segundo ano de vida. A produção das sementes pode variar entre 20 a 24 mil sementes por planta com os devidos cuidados adequados. A semente produz um óleo amarelo claro de alta qualidade, similar em qualidade ao azeite de oliva, que pode ser de 35 % a 40 % da massa total da semente. A torta restante, após extração de óleo, não é tóxica, podendo ser usada como decantador no tratamento de água para o consumo humano e como alimentação de animais. Este recurso natural pode ser importante para a economia regional. Com a plantação em alta escala da moringa, pode-se também reduzir o índice de gás carbônico existente no ar.

7- ATIVIDADES ACOMPANHADAS

Realizado no Laboratório de Óleos, Gorduras e Biodiesel (G-Óleo) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, o estágio acompanhou as atividades de:

- I) Coleta de óleos residuais;
- II) Processamento de resíduos animais (Graxearia);
- III) Extração de óleos vegetais (mecânica e química).

7.1- Geração de Energia Térmica (Caldeiras)

As Caldeiras a vapor são equipamentos destinados tanto à geração de energia térmica quanto para geração de energia elétrica (termoelétrica) e, também, para produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia. Elas podem operar com pressão acima da atmosférica até 250 vezes maior.

No G-Óleo, este setor está constituído com duas caldeiras que foram construídas para trabalhar com 981 KPa (10 kgf/cm^2) de pressão para atingir entre 180 a 190°C . Uma das caldeiras é de combustão à lenha, sendo, a mais usada, que gera em torno de 600 a 650kg de vapor/hora, usando como matéria prima: galhos de poda de árvores ou resíduos de madeira de material de construção da UFLA (Figura 10a). A outra caldeira funciona com diesel, ou biodiesel no caso, e gera em torno de 150 quilos de vapor/hora (Figura 10b). Ambas não podem funcionar ao mesmo tempo, porque as pressões são diferentes, não sendo possível controlar quem está fornecendo a pressão. Neste caso o vapor produzido é utilizado para manter aquecido o óleo na forma líquida nos reatores durante o processamento, e, também, para autoclavagem, esterilização de materiais diversos, cozimento de alimentos, óleos, gorduras e de outros produtos orgânicos.

Figura 10. Caldeiras no setor de geração de energia térmica: a) Caldeira de combustível lenha; b) Caldeira de combustível diesel e/ou biodiesel:



Fonte: Autor, 2015

7.2- Coleta e processamento de óleo residual de frituras

O óleo descartado em domicílios, hotéis, restaurantes, bares, comércio etc., se for para o ralo da pia da cozinha, pode causar mau cheiro, entupimento dos encanamentos, aumentando dificuldades referentes ao tratamento de esgoto, tubulações nos rios e até mesmo ao oceano. Por causa da sua densidade menor do que a água, o óleo permanece na superfície provocando o impedimento a troca de gases e a entrada de luz na água. O óleo além de provocar um desequilíbrio ambiental, pode comprometer a vida aquática (PARAÍSO, 2008).

O recolhimento deste é feito pelas donas de casa e estabelecimentos alimentícios, em posto de coleta de fácil acesso (por ex. ACAMAR (Associativismo & Ecologia) de coleta seletiva de lixo) e transportado um caminhão ou uma minivan (Figura 11A) do G-Óleo, com o objetivo geral de diminuir a quantidade de óleo residual de fritura evitando os transtornos potenciais que seriam provocados pelo descarte desse óleo na natureza. O Projeto Biodiesel fornece o recipiente (vasilhame ou bombona) de coleta para armazenamento, que deve ficar fora da cozinha, longe do fogo em lugar seguro e coberto, para uma captação ambientalmente correta e sustentável (Figura 11B).

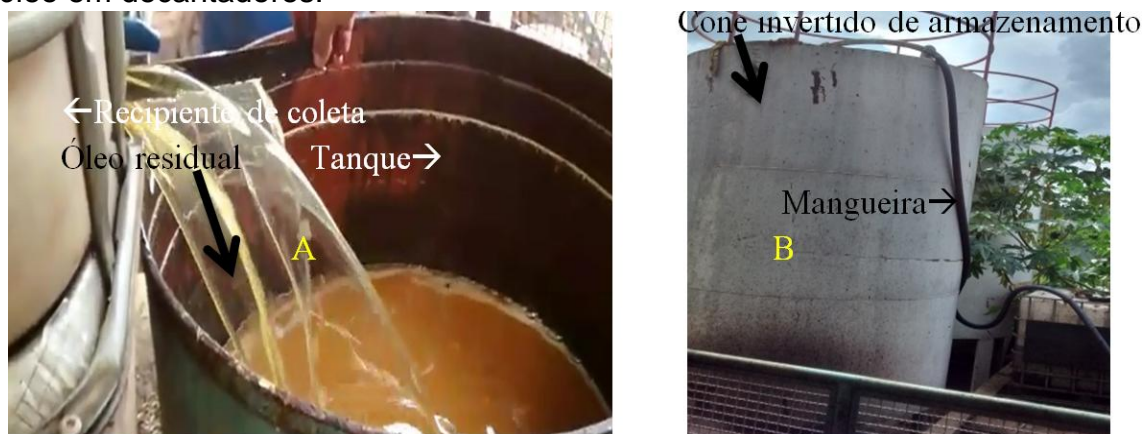
Figura 11. A) Minivan e Caminhão de coleta; B) Bombona de coleta de óleo residual residencial.



Fonte: Autor, 2015.

Assim, o óleo descartado é recebido num tambor e bombeado a partir de uma máquina para os decantadores em forma de cones invertidos Figura 12. De acordo com a sua densidade em torno de 0,8 a 0,9kg/L , é possível realizar uma pre-separação da água (por diferença de densidade (1kg/L) junto com toda sujeira, principalmente sólida, que ficam na parte inferior, estando o óleo na parte superior. Depois desta separação, o óleo pode ser armazenado.

Figura 12. Recepção e Armazenamento do óleo A) Pre-separação do óleo dos materiais mais densos (água, sólidos etc) B) Bombeamento e armazenamento do óleo em decantadores.



Fonte: Autor, 2015

Dependendo da quantidade e da sua finalidade pré-estabelecida, este material pode passar pelos diferentes processos tais como: a purificação, lavagem e secagem (Figura 13). O produto obtido será de alta qualidade para gerar ou produzir diferentes coprodutos como: sabão artesanal, tintas, produto biodegradável, produtos para aplicação de inseticidas, herbicidas, espelhantes adesivos de pulverização, ou até biodiesel tirando glicerina pela

transesterificação, de fácil produção e baixo custo. Estes derivados podem ser processados no setor de co-produtos de G-Óleo (Figura 13). A qualidade desse óleo no armazenamento não altera com o tempo se não tiver muita oxigenação.

Figura 13. a) Purificação, lavagem e secagem e b) setor de co-produtos de óleo:



Fonte: Autor, 2015.

7.3- Graxearia

Entendido como estabelecimento que trabalha na produção de sebo/gordura e de farinhas de carne e/ou ossos a partir de materiais residuais gerados pelo abate de bovinos e suínos, que se encontra normalmente num abatedouro, a graxearia é dividida em:

Câmara fria: Armazenamento dos resíduos em câmara fria em torno de 0°C; geralmente quando a quantidade material é insuficiente a ser processado dependendo das necessidades naquele período.

Trituração: O processo é feito a partir do “moedor ou triturador de ossos” máquina capaz de triturar tanto produtos moles (vísceras de frango) quanto os materiais mais duros (ossos bovinos), incluindo animais inteiros. O triturador usado no G-OLEO é o modelo 60-4; sua data de fabricação 15/06/2010; peso 4500kg; trabalhando numa produção de 4000kg^h⁻¹ e com potência de 30 cv. Normalmente o tamanho do material fica em torno de 5 cm. Depois de ser triturado o material é transportado na câmara de digestão, no digestor (Figura 14).

Figura 14. Câmara fria, Triturador ou moedor de ossos e transportador.



Fonte: Autor, 2015

Digestão: Um digestor é um aparelho hermeticamente fechado para cozer ou macerar certas substâncias, é encamisado com vapor para gerar temperatura, vedado com reatores por fora e por dentro. O digestor é autoclavado que permite esterilizar o material. Depois de ser aquecido ou cozinhado, o material será transportado por uma rosca transportadora até a cozinhadora/percoladora (Figura 15).

Figura 15. a) Digestor/digestão; b) Rosca transportadora.



Fonte: Autor, 2015

Tanque agitador: Tem a função de continuar a agitação lenta do material com o objetivo de homogeneizar e obter um produto com consistência mais líquida. Não será necessário o resfriamento porque o material ficará pouco tempo armazenado, sendo assim, será somente isolado para evitar perdas de energia (Figura 16). No entanto a gordura/água despejada, bombeada e conduzida a um tanque agitador com serpente e mantido aquecido por vapor numa temperatura

em torno 60 e 70°C para evitar que se solidificar as massas (borras) dos subprodutos que serão conduzidas para o setor de co-produtos. Se o material tiver ainda muita gordura e dependendo da finalidade, é levado para uma prensa expeller, para uma segunda extração.

Figura 16. Tanque agitador.



Fonte: Autor, 2015

7.4- Extração de Óleos Vegetais

Este setor é dividido em duas partes: Extração mecânica e química. Os produtos (geralmente sementes e/ou grão) provenientes do caminhão são descarregados nas moegas, logo na entrada do laboratório. Estes são levados por correias transportadoras até o silo de armazenamento. Na sequência, os produtos vão passar por processo de pré-limpeza, secagem, limpeza, armazenamento e processamento. Vale lembrar que os grãos devem ser armazenados em torno de 13-14% de umidade.

Neste laboratório (G-Óleo) utilizam-se os silos elevados (8 unidades) que são concebidos para o armazenamento de grãos (cereais, sementes, leguminosas, produtos industriais e outros produtos) que necessitem de condições especiais de armazenamento. A massa contida nos silos fica isolada do solo, evitando desta forma a umidade e, além disso, permitindo a interligação de silos através de cintas, facilitando uma extração ou dosagem perfeitas. Há a

possibilidade de escolher colocar o material num dos 8 silos experimentais, cuja capacidade de cada um é de 5000 litros.

O elevador ou transportador pode levar o material (sementes e/ou frutas etc.) para as máquinas (Prensador) para ser processado. De acordo com o material, pode haver um pré-processamento.

7.4.1- Extração mecânica

A extração mecânica é feita por prensagem contínua usando sementes à temperatura ambiente (extração a frio) ou considerando um pré-tratamento térmico (com cozimento). A máquina utilizada é Prensa Expeller para prensagem de diversos tipos de semente oleaginosa e subprodutos cozido de animais (Figura 17).

Figura 17. A) Prensa ou extrator mecânico; Prensa Expeller: a) Sementes de moringa b) Separação torta e óleo; c) Coleta de óleo.



Fonte: Autor, 2015

Cozinhador Vertical: Serve para aquecer, misturar, clarificar e retirar umidade. É um tanque cilíndrico vertical em aço carbono e perfis laminados tipo H. Possui agitador interno de pás para a mistura do produto, reguladores de passagem de massa e portas de inspeção a cada estágio. Setas indicadoras de nível localizadas na parte externa do equipamento e tomadas de entrada e saída de vapor nos pratos e camisa. Na parte superior, acionamento por motor elétrico e transmissão motor/redutor por polias e correias. Capacidade: 2500 A 5000 kg/h (Figura 18).

Figura 18. Cozinhador Vertical

Fonte: Autor, 2015.

Degomagem: De acordo com a Resolução 042 de 24/11/2004, da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o óleo vegetal ideal para o processamento de biodiesel deve ser isento de água. No contexto industrial é aceitável até 0,05% de água na matéria-prima oleaginosa. A presença desta substância em quantidades elevadas favorece a saponificação, consome o catalisador, favorece a formação de ácidos graxos e diminui a capacidade de transesterificação alcalina.

MORAIS et al. (2012) em termos dos parâmetros custo-benefício, para produção de biodiesel é aconselhável tratar a matéria-prima oleaginosa pela técnica de degomagem aquosa desde que seja utilizada a neutralização dos ácidos graxos livres e consequentemente eliminação dos fosfatídeos hidrofóbicos na borra. A degomagem ácida tem como vantagem a inativação e/ou redução de fosfatídeos hidratáveis e não hidratáveis, porém os custos com este processo aumentam consideravelmente.

Decanter Centrífugo separa duas ou três fases de diferentes pesos específicos, especialmente na separação de um líquido contendo sólidos em suspensão. A separação de sólido e líquido acontece no interior de um tambor rotativo com formato cilindro/tronco-cônico, em cuja superfície interna se deposita a fase sólida, mais pesada, que é descarregada de maneira contínua pela rosca interna, o gel líquido classificado é descarregado em outra extremidade e direcionado a tubulação coletora (Figura 19).

Figura 19. Decanter Centrifuga.



Fonte: Autor, 2015

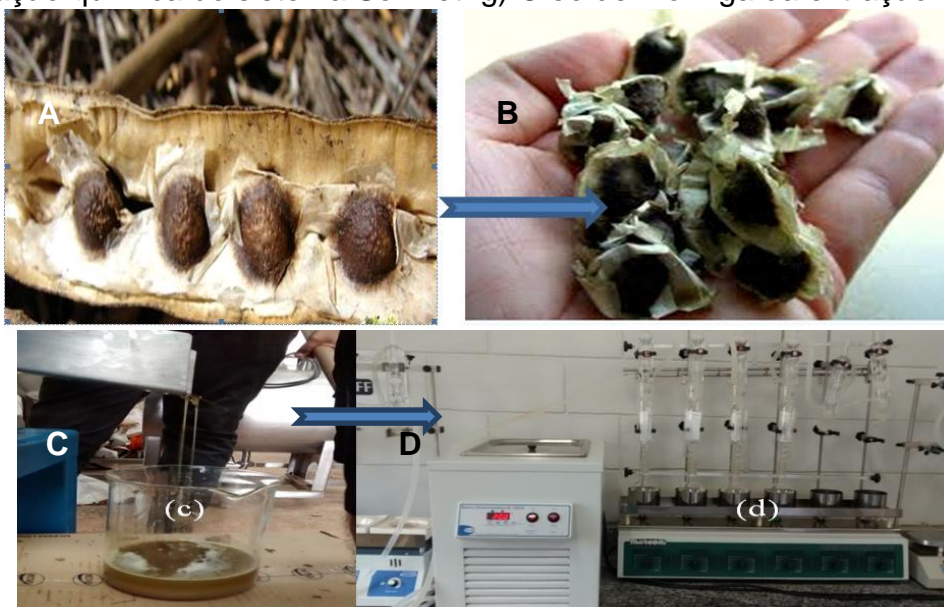
Purificador: Separa e elimina água e outros líquidos contaminantes, o que proporciona óleo diesel puro para o motor. "Sem precisar de tempo para decantação, a separação de água é total e instantânea. Inibe a formação de ácidos pós- explosão, diminui a emissão de poluentes ácidos pelo escapamento, desta forma, evita multas e protege o meio ambiente. "Um diesel bem mais puro, da forma como fica ao passar pelo purificador, reduz em até 83% a emissão de poluentes sólidos. Desta forma, o motor consome menos, com menos gastos para a manutenção, diante da melhora do desempenho e do aumento de sua vida útil, incluindo de bomba e bicos injetores.

8- EXPERIMENTO

8.1- Material e Método

As sementes de Moringa foram obtidas das vagens coletadas, no Campus central da Universidade Federal de Lavras. Para extração do óleo da Moringa, inicialmente separou-se as sementes das vagens e das amêndoas que as rodeiam, restando às sementes com casca. Estas foram submetidas a um processo de secagem por 24 h em uma estufa a 105 °C para retirar a umidade. A extração do óleo foi realizada por um sistema de extração e através de uma prensa extratora Helicoidal de óleos vegetais, de forma que um material (torta) homogêneo fosse obtido. Ainda o óleo contido na torta foi extraído com n-hexano P.A. da Synth, através de um sistema de extração usando soxhlet. Realizou-se a análise físico-química do óleo de moringa para se ter o conhecimento desta matéria prima para produção de biodiesel (Figura 20).

Figura 20. Processo de obtenção do óleo de moringa oleífera: a) Semente de Moringa oleífera junto com a casca do fruto b) Sementes separadas da casca do fruto c) Extração mecânica de óleo a partir de uma prensa extratora de óleos vegetais d) Sistema Soxhlet e) Evaporador rotativo f) Óleo de moringa da extração química do sistema Soxhlet g) Óleo de moringa da extração Mecânica.



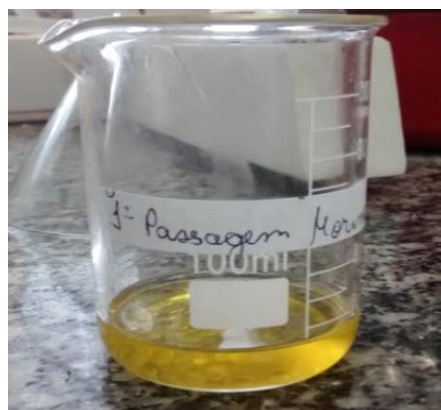
d



(e)



(f)



(g)

Fonte: Autor, 2015.

O rendimento do óleo no processo foi definido como sendo a massa de óleo extraída em função da massa de semente de moringa usada na extração, $(\text{Rendimento (\%)} = \text{Massa total de óleo} * 100 / \text{Massa total inicial})$; $R(\%) = \text{Massa de óleo} \times 100 \div \text{massa da semente inicial}$ (equação 1).

8.2. Extração por Prensagem Mecânica de Moringa

O processo de extração foi realizado em prensa contínua tipo Expeller, de extração radial tubular acionada por motoredutor de acionamento elétrico, com capacidade de processamento de até 120 kg.h^{-1} de matéria-prima (Figura 21). Foi feita a prensagem das sementes e posteriormente da torta de Moringa da primeira passada na máquina. Sendo que se separou uma amostra da torta da primeira passada e da segunda para realização da extração química que possibilita assim saber quanto de óleo ainda restou na torta.

Figura 21. Extração mecânica por prensa contínua tipo Expeller realizando a extração de óleo de Moringa.



Fonte: Autor, 2015

8.3. Extração Química

A torta de sementes obtida no processo anterior foi moída no Moinho de Facas tipo willye modelo STAR FT 50 da FORTINOX®. Posteriormente, procedeu-se envelopamento das amostras em papel filtro, que foi pesado anteriormente. Pesou-se as amostras e extraiu-se o óleo utilizando-se de extratores tipo Soxhlet e como solvente o hexano (C₆H₁₄; 99%) (Figura 22). As amostras ficaram em média 4 horas nos extratores em temperatura acima de 69°C (ponto de ebulição do hexano) até que fossem totalmente desengorduradas. Pois, o produto final obteve-se uma solução de hexano e óleo de Moringa. Depois, o hexano foi recuperado através de um rota evaporador e então obteve-se o óleo puro. As amostras (envelopes) foram secas em estufa a 80°C por uma hora e pesou-se novamente e, assim, deve-se o teor de óleo das sementes, com a seguinte equação 1:

$$R(\%) = 100 \times \frac{\text{Massa de Óleo}}{\text{Massa de Semente inicial}}$$

Figura 22. Extratores tipo Soxhlet realizando a extração química de óleo de Moringa.



Fonte: Autor, 2015

8.4- Análises Físico-Químicas do Óleo

8.4.1- Índice de acidez

Este processo foi determinado pelas metodologias das NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLF LUTZ (1985). Colocou-se, cerca de dois gramas de amostra e 25 mL de solução neutra éter etílico - álcool etílico (2:1) neutra, além de duas (2) gotas do indicador fenolftaleína a 1% em Erlenmeyer de 125 mL. Agitou-se. A mistura foi titulada com solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 molL⁻¹ até ocorrer a viragem da cor rosada. Com o volume necessário para a titulação e a massa exata pesada de óleo, deve-se calculado o Índice de acidez do óleo e biodiesel pela equação 2:

$$\text{Índice de acidez} = V \times f \times \frac{5,61}{P}.$$

Em que:

V= volume em mL de solução de NaOH gasto na titulação;

f= fator de correção da solução de NaOH;

P= massa em gramas da amostra.

V= volume em mL de solução de NaOH gasto na titulação;

f= fator de correção da solução de NaOH;

P= massa em gramas da amostra.

8.4.2- Índice de peróxido

Nesta análise foram pesados $5 \pm 0,05$ g de óleo de moringa em um frasco Erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, misturando com 30 mL da solução ácido acético-clorofórmio 3:2 e agitou-se até a dissolução da amostra. Utilizou-se 0,5 mL da solução saturada de KI e colocou-se em repouso ao abrigo da luz por exatamente um (1) minuto. Depois adicionou-se 30 mL de água e titulou-se com solução de tiossulfato de sódio 0,01 N, agitando constantemente. Continuou-se a titulação até que a coloração amarela tivesse quase desaparecida. Depois, titulou-se com 0,5 mL de solução de amido indicadora até o completo desaparecimento da coloração azul. Preparou-se uma prova em branco, nas mesmas condições e também foi titulada. A fórmula para obtenção do Índice de peróxido em meq por 1000 g de amostra é a seguinte:

$$\text{Índice de peróxido em meq por 1000 g de amostra} = \frac{(A-B) \times N \times f}{P} \text{ (Equação 3)}$$

Em que:

A = volume em mL da solução de tiossulfato de sódio 0,01 N gasto na titulação da amostra;

B = volume em mL da solução de tiossulfato de sódio 0,01 N gasto na titulação do branco;

N = normalidade da solução de tiossulfato de sódio;

f = fator da solução de tiossulfato de sódio;

P = nº de g da amostra.

8.5- Produção de Biodiesel a Partir do Óleo de Moringa Oleifera

8.5.1- Reação de transesterificação

Foi feita a transesterificação do óleo de Moringa obtido, após, as devidas extrações mecânica e química. Desta operação os produtos obtidos são as seguintes: o glicerol (glicerina), coproduto, e o éster metílico de ácido graxo (o chamado biodiesel). Este foi obtido pela reação química do óleo de Moringa (50g) com um álcool de cadeia curta, o metanol (10g), em presença de um catalisador (3 mL), o metilato de sódio 30% m/v; sendo estes os componentes para realização da reação de transesterificação.

A reação de transesterificação foi realizada somente via básica, com o óleo de moringa obtido mecanicamente, em reator de vidro encamisado com três conexões e capacidade interna para 500 mL. Na conexão central encaixou-se um agitador magnético e ainda em uma das conexões laterais, um termômetro digital e na outra um condensador de bolas resfriado a água. O controle de temperatura foi realizado por banho ultratermostático, com temperatura em 50°C, que recirculação de água pela camisa do reator.

Posteriormente a montagem do sistema; foram feitos os seguintes procedimentos: 50g de óleo extraído foi colocado no reator encamisado, com 10g de metanol, até a estabilização do sistema, aquecida à 50°C (óleo) e o agitou por 20 minutos. Adicionou-se 5g de metanol adicionado ao KOH e levado ao sistema aquecido. Sabendo que o KOH, representa 1% em relação a massa do óleo. Com todos os reagentes presentes no reator, e com temperatura estável, iniciou-se a reação de transesterificação durante aproximadamente 60 minutos (Figura 23).

Figura 23. Reator de vidro encamisado com capacidade interna para 500 mL, realizada a reação de transesterificação.



Fonte: Autor, 2015.

Logo após a transesterificação o produto final foi transferido para um funil de Squib de decantação com o intuito de separar as fases; glicerina e biodiesel. Após aproximadamente 1 hora em repouso no funil, observou-se nitidamente duas fases, uma mais densa os reagentes em excesso, as impurezas e o glicerol (glicerina) no fundo, e outra a menos densa contendo os ésteres metílicos (biodiesel) em cima, como pode ser observado na Figura 24. Pois, esta decantação teve uma duração de 24h, sendo então drenada parte inferior a

glicerina e restos de catalizador, deixando os ésteres metílicos (Biodiesel). A glicerina é mais densa do que o biodiesel e desta forma decantou.

Figura 24. Funil de Squib de decantação, onde ocorreu a separação dos reagentes em excesso, as impurezas e o glicerol (glicerina) e o biodiesel, após uma hora.



Fonte: Autor, 2015.

Em seguida o biodiesel foi lavado com água morna destilada a 80°C, afim de remover o álcool e o catalizador remanescente. Para a avaliação do processo de lavagem foi realizado a medida do pH utilizando fenolftaleína para observar a coloração da água de lavagem que inicialmente tinha coloração rosa e que, posteriormente, com as sucessivas lavagens ficou incolor, sendo finalizada a lavagem neste momento. Em seguida, houve a secagem do biodiesel, para eliminar a umidade residual, em uma estufa a 100 °C.

9- BIODIESEL – RESULTADO E DISCUSSÃO

Esta primeira etapa do trabalho devido ao prazo do estágio além da ausência da equipe técnica do laboratório no final do período do estágio, não tiveram resultados, assim, não foram analisados os resultados sobre o estudo das duas formas de extração de óleo de Moringa, e posteriormente caracterizar a viabilidade do óleo das sementes deste vegetal para produção de biodiesel.

10.- CONCLUSÃO – BIODIESEL

A partir deste trabalho sobre a coleta de óleos residuais de frituras, processos e cadeia produtiva de Biodiesel e a extração mecânica e química de óleo das sementes Moringa e produção de biodiesel a partir desta matéria prima, podem ser concluídas dessa forma:

O projeto de recolhimento de óleos residuais representa a diminuição de um dos maiores poluidores de água e de entupimento de esgoto. Pois seu reaproveitamento para produção de Biodiesel e outros produtos traga benefícios econômicos e ambientalmente sustentáveis.

Em media, as sementes provindas de Moringa oleífera apresentam um bom teor de óleo, sendo alternativa para a produção de biodiesel a partir de transesterificação básica.

A extração mecânica foi menos eficiente e mais rápido que a química, pois, não retirou totalmente o óleo contido nas sementes, Baixo custo inicial de instalação; capacidade de processar grande quantidade de material; não utiliza solvente, o que leva a um menor custo de operação.

Este processo gera pouco gasto operacional e é considerado uma metodologia viável.

Sabendo que mais de 95% das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel provem da soja e da gordura animal. Faz-se necessário de investir em pesquisas e capacitação de profissionais visando a diversificação das matérias-primas (tipo de oleaginosas), e o desenvolvimento do biodiesel da segunda e terceira geração em escala maior, no intuito da sustentabilidade.

11.- COLETOR SOLAR – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Sol é fonte de energia renovável, inesgotável e o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentar os desafios do novo milênio (Ho D. A., et al., 2015). Quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar.

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos (principalmente água) e ambientes, para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico (mais usados) e o fotovoltaico (energia elétrica) (ANEEL, 2005).

Coletor solar: O coletor solar é um dispositivo onde pode-se verificar a transmissão do calor através dos três processos: condução, convecção e radiação. A energia solar que incide por radiação é absorvida pelas placas coletoras. Estas transmitem a parcela absorvida desta energia para a água que circula no interior de suas tubulações de cobre, sendo que uma pequena parte é refletida para o ar que envolve a chapa. A eficiência do coletor é dada pela proporção dessas três parcelas de energia (absorvida, transmitida e refletida) em relação à quantidade total de energia incidente. Dessa forma, o coletor será mais eficiente quanto maior for a quantidade de energia transmitida para a água (ANEEL, 2005).

A radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água, a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Para o suprimento de água quente de uma residência típica (três ou quatro moradores), por exemplo, são necessários cerca de 4 m² de coletor (ANEEL, 2005).

11.1- Panorama Mundial da Energia Solar

Segundo EPIA (2014), EPE (2014) a produção primária total de energia cresceu 17% no mesmo período, frente a 56% das fontes renováveis. Somente o

crescimento da geração de energia eólica superou a energia solar. A capacidade mundial instalada atingiu 139 GWp, em 2013.

O mercado global de energia solar cresceu de forma exponencial nos últimos anos. Várias aplicações de energia solar tornaram-se viáveis economicamente pela expansão dos mercados e pela consequente expansão das escalas de produção e pelo desenvolvimento tecnológico. Os EUA e a Espanha concentram as pesquisas tecnológicas e as plantas-piloto termossolares, muito por conta de suas vocações naturais, oriundas das altas irradiações solares nas regiões semiáridas de seus territórios. A Alemanha participa como principal desenvolvedora de tecnologia e fornecedora de materiais e bens de capital para o segmento termossolar, sobretudo com a instalação de plantas na Europa, África e Oriente Médio (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

11.2- Energia Solar no Brasil

A crise do petróleo nos anos 1970 iniciou e impulsionou o mercado brasileiro de aquecimento solar (exemplo de outros países), sendo, à época, caracterizado por uma grande dose de idealismo por parte de seus empreendedores. No Brasil existe enorme potencial a ser aproveitado, no que se refere à política energética. Partindo disso, a energia solar é mais uma entre as diversas opções que o país detém, como hidroeletricidade, energia eólica, biomassa. Como alternativa altamente interessante, uma vez que apresenta grande potencial de utilização no país, além de ser uma fonte energética renovável, limpa, ilimitada e disponível em todo território nacional. No entanto, é necessário investimentos em tecnologia para redução dos custos de implantação, geração e uso imediato em grande escala (SILVA, 2015).

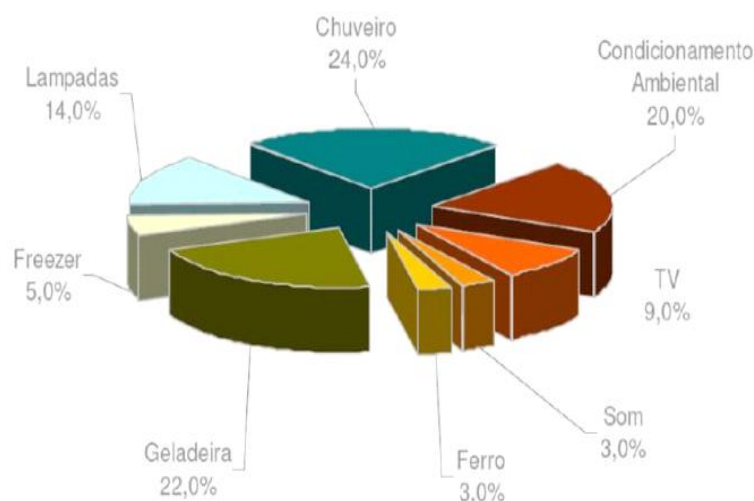
Os aquecedores são mais encontrados nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e os geradores fotovoltaicos são mais encontrados nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica (ANEEL, 2005).

O consumo de energia está distribuído em diversos equipamentos que atendem desde as necessidades básicas, como a higiene e alimentação, até o conforto e lazer da família que ocupa a residência. Entre estes eletrodomésticos estão: chuveiro elétrico, geladeira, freezer, máquina de lavar e ferro de passar

roupas, televisão, aparelhos de som e ar condicionado. Sendo que 32% do consumo médio de energia era utilizada em sistema de aquecimento de água. (SETRAK, 2013).

Segundo Eletrobrás (2007) o chuveiro elétrico consumo em torno de 24,0% de energia residencial, apresentado na Figura 25 seguinte.

Figura 25. Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial Brasil:

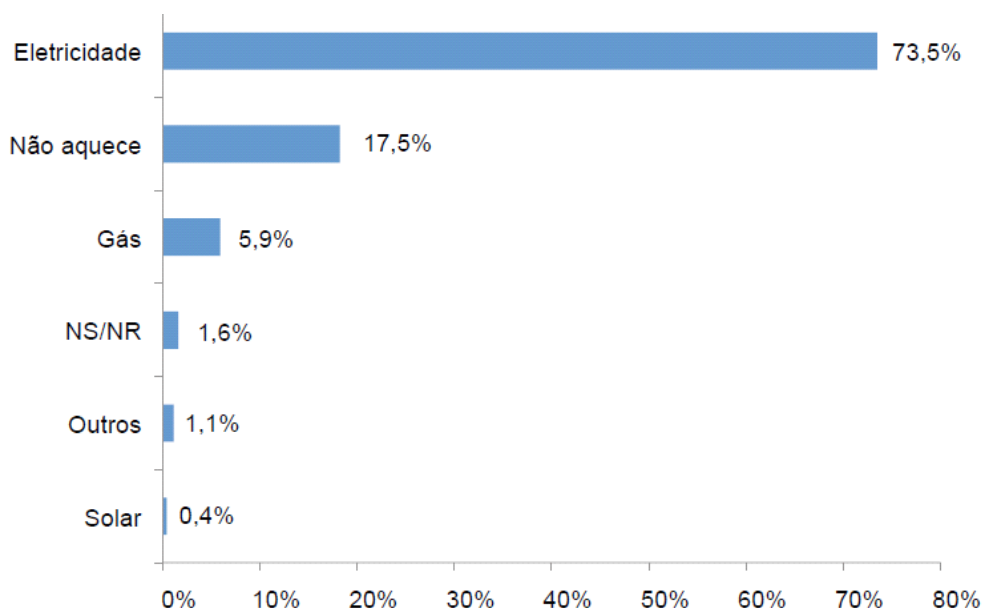


Fonte: Eletrobrás; 2007

Percebe-se que o chuveiro elétrico apresenta o consumo total de energia elétrica nominal no mesmo patamar do que a geladeira e condicionador de ar. Dessa forma é importante saber quais as fontes de energia utilizadas e disponível para aquecimento de água doméstica.

Segundo a Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (Eletrobrás Procel, 2007), a energia solar contribui apenas com 0,4%, da energia utilizada para aquecimento de água, conforme pode ser observado na Figura 26.

Figura 26. Fonte de energia utilizada para aquecimento de água para banho (Eletrobrás Procel, 2007).



Fonte: Eletrobrás Procel 2007

A quantidade energética solar que chega no Brasil é equivalente a 745 x 1015 kWh, correspondendo aproximadamente a 1,36 kWh.m⁻² a 160 km de altura e a um fluxo energético ao nível do solo de 233 W.m⁻², representando 2 x 10⁹ MW em todo o país, evidenciando a viabilidade do uso desta energia para fins diversos (AIKAWA et al., 1983; citado por NAGAOKA et al., 2009).

A energia solar em aquecedores, já vem sendo usada no Brasil desde a década de 60, época em que surgiram as primeiras pesquisas na área de tecnologias solares. Atualmente existem cerca de 600 mil coletor solares instalados no Brasil para aquecer a água do banho (COIMBRA et al., 2008).

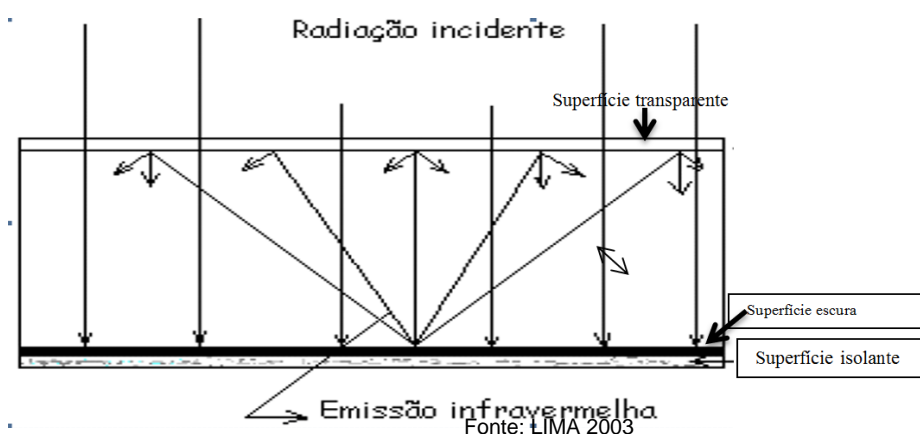
Segundo SINÍCIO (1989), o uso de coletor solar é uma tecnologia que exige materiais de construção simples, sendo que o aproveitamento da energia solar não causa poluição nem corrosão no sistema de coleta e é uma fonte inesgotável, entretanto cita como desvantagens a disponibilidade não constante desta energia e os baixos coeficientes de transferência de calor nos materiais de captação do coletor. LIMA (2003) confere em contrapartida o custo de operação e manutenção é mínimo comparando com sistema convencional, sendo quantificada aproximadamente 12% do custo da instalação do sistema ao longo de toda a vida útil considerando 20 anos.

Vale ressaltar que no projeto e na construção de um coletor solar, deve-se levar em consideração tipo e a utilização de materiais apropriados, a inclinação e o posicionamento, de modo a favorecer o denominado efeito estufa, que é o responsável pela elevação da temperatura no interior do coletor. Sendo que estes fatores são fundamentais para um melhor aproveitamento da radiação solar que chega a uma determinada superfície.

O efeito estufa é obtido utilizando-se uma superfície escura na base do coletor e uma superfície transparente acima, de modo que a radiação incidente tenha seu comprimento de onda modificado ficando confinada sendo absorvida e emitida sucessivamente pela superfície escura, como mostra na Figura 34. A cor escura da superfície de absorção da placa permite de aproveitar 95% da energia disponível (HUDSON e MARKEL, 1985).

Segundo LIMA (2003), a superfície escura é também um excelente irradiador de energia. A superfície transparente reduz substancialmente as perdas radiativas e convectivas da placa absorvedora, sendo responsável pelo efeito de estufa ao refletir de voltar a radiação de ondas longas para placa (Figura 27).

Figura 27. Esquema de coletor solar plano e o efeito estufa resultante.



11.3- Tipos Fundamentais de Coletores Solar para Aquecimento de Água

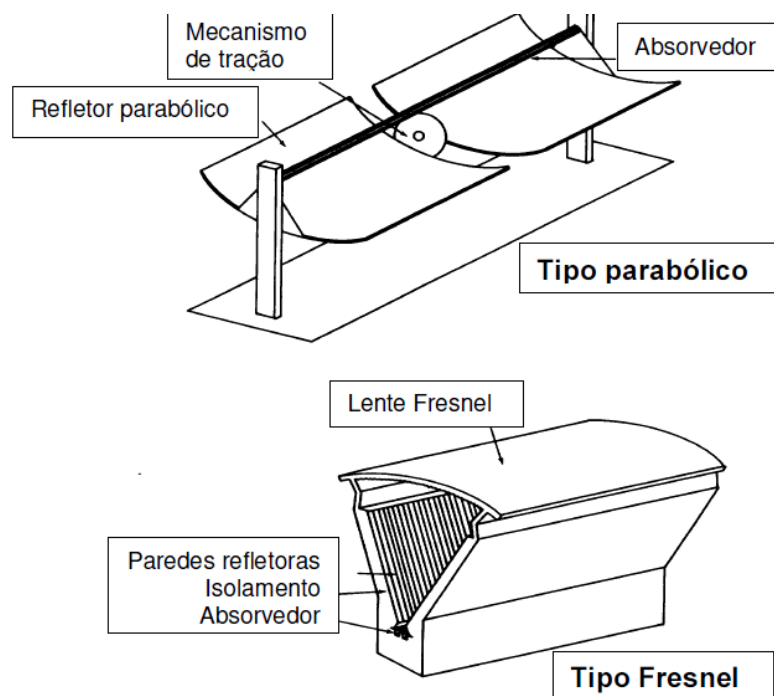
Tradicionalmente os sistema de aquecimento com energia solar são compostos por coletores solares, reservatório de armazenamento de fluido aquecido, fonte auxiliar de energia e um sub-sistema de distribuição do fluido aquecido. A necessidade de um reservatório de armazenamento se deve ao fato

de que a demanda por fluido aquecido não coincide, na maioria das aplicações, com o período de oferta do mesmo. Em aplicações residenciais, o consumo de água quente ocorre principalmente das 18 às 20 horas, mas a geração de água quente ocorre durante o dia (LIMA, 2003). Existem basicamente dois tipos de coletores: Coletores de concentração e Coletores planos.

O coletor de concentração focaliza a energia que atinge um grande refletor parabólico ou uma grande lente Fresnel para um absorvedor relativamente pequeno (Figura 28). O absorvedor contém água ou outro fluido de transferência. Em virtude da concentração de energia em um absorvedor de área diminuta, o fluido alcança níveis muito mais elevados de temperatura que aqueles atingidos pelos coletores planos.

Estes coletores requerem uma montagem sob um mecanismo motorizado de rastreamento de movimento solar, pois a radiação deve incidir no refletor ou na lente com um ângulo correto para ser focalizado sobre o absorvedor (Figura 28). Desta forma, o aproveitamento da radiação pelo coletor aumenta. O equipamento de rastreamento é complexo, caro e de difícil manutenção (LIMA, 2003).

Figura 28. Coletores de foco concentrado, parabólico e Fresnel.



Fonte: Lima (2003).

O coletor plano recebe e utiliza a radiação solar na mesma superfície. Comparado com o coletor concentrado, ele opera em baixas temperaturas, geralmente abaixo de 93°C . A eficiência diminui rapidamente acima de 71°C . As vantagens deste coletor, em relação aos demais tipos, são por não ter dificuldade de operar em dias nublados, relativa facilidade de reparo e a durabilidade. É composto por placas absorvedoras, canalizações por onde escoo o fluido (água) a ser aquecida, cobertura transparente térmico (Figura 29). A função da placa absorvedora é converter a energia radiante em calor, O calor é transferido para os tubos e destes para o fluido. O material isolante do coletor deve ser capaz de resistir a temperatura de até 204°C , sem produzir substâncias voláteis (LIMA, 2003).

Figura 29. Seção típica de um coletor de superfície plana.



Fonte: Lima (2003).

Este trabalho tem como objetivo fazer medidas de temperatura em três tipos de coletores solares: coletor desenvolvido pela USP - Piracicaba, coletor desenvolvido pela CELESC e coletor desenvolvido pela UFSC, para cálculo da eficiência térmica dos mesmos.

12. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada em Florianópolis, Santa Catarina.

12.1- Os Coletores

Para construção dos coletores solares utilizou-se o máximo de materiais recicláveis (garrafas PETs, PVCs, isopor), e o experimento foi feita a partir de uma bancada de testes onde os experimentos para obtenção e comparação de desempenhos. Foram construídas três (3) tipos de aquecedores solares: Aquecedor solar desenvolvido pela USP/Piracicaba; Aquecedor solar desenvolvido pela CELESC; Aquecedor solar desenvolvido pela UFSC.

12.1.1- Aquecedor solar desenvolvido pela USP - PIRACICABA

Usou-se como material hidráulico básico: 1 Tê roscável em PVC $\frac{3}{4}$ ", 1 luva roscável em PVC $\frac{3}{4}$ "; fita veda-rosca, 0,15m de tubo de PVC etc.

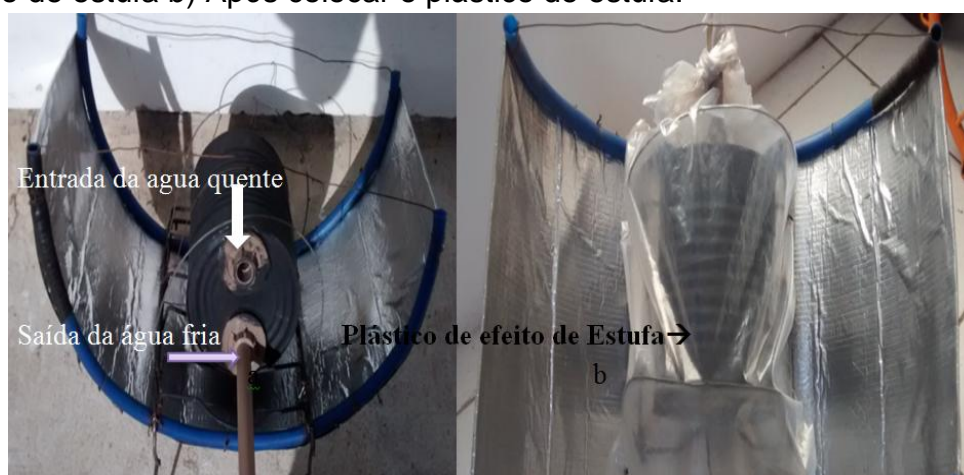
Outros Materiais

1 tambor galvanizado (lata de ervilha de 2kg obtida no Restaurante Universitário RU/CCA/UFSC) de 2 litros; 100ml de tinta preto-fosca (comprada), 1 pincel; 0, 80 x 0,30 m de manta de alumínio; arame para fixação de malha de alumio, e 1m de arame galvanizado (14 mm de espessura), 0, 50 m² de plástico para estufa (transparente incolor). As ferramentas usadas eram: chave de fenda, alicate normal e alicate de bomba da agua ou grifo.

Para a montagem: Seguiram-se os mesmos princípios do projeto da USP, salvo que em tamanho reduzido e uso de menor quantidade de materiais. Sabendo que a área de coleta foi de 0,50 x 0,30m, ou seja, de 0,15 m². A manta de alumínio foi colocada de baixo do tambor, para redirecionar os raios solares de forma a converger para o tambor aumentando a eficiência do sistema. Usou-se plástico de estufa cobrindo o tambor, criando o efeito de estufa.

Um suporte para sustentar o plástico de estufa foi feita com arame, fazendo dois círculos na parte inferior e superior do tambor. Os arames foram amarrados no apoio do reservatório. Os círculos foram de dez centímetros maiores que o diâmetro do tambor. Para sustentar a malha de alumínio, foram pegar dois pedaços de mangueira (0,80cm cada) para prende-o na parte inferior e superior da malha de alumínio para facilitar a forma côncava da área de coleta com ajuda de arame. Embrulhe o tambor com o plástico de estufa como uma bala (Figura 30).

Figura 30. Aquecedor solar na fase terminal de construção: a) antes de coloca o plástico de estufa b) Após colocar o plástico de estufa.



Fonte: Autor, 2015

12.1.2- Aquecedor solar composto desenvolvido pela CELESC

Segundo os procedimentos do “Manual de construção e Instalação” do Aquecedor Solar elaborado pela Celesc Distribuição S.A., (2009), construiu-se um aquecedor solar com 12 garrafas PET (600 ml) e oito caixas Tetra Pak (1 litro) dispostas em 4 colunas com 4 garrafas cada, totalizando área útil de absorção térmica de $0,15 \text{ m}^2$. O coletor foi conectado a uma lata (boiler) de 2 litros, com função de reservatório, revestida com isopor de 20 mm de espessura.

Usou-se tubos e conexões de PVC nas colunas de absorção térmica, garrafas PET e as caixas Tetra Pak. As garrafas PET foram instaladas para proteger o interior do coletor das interferências externas, principalmente ventos e oscilações da temperatura, criando um ambiente próprio, criando o efeito estufa. O calor absorvido pelas caixas Tetra Pak, pintadas de preto fosco, retido no

interior das garrafas é transferido para a água pelas colunas de PVC, também pintadas de preto.

Foram escolhidos dois tipos de garrafas PET de 600 ml num total de 12 garrafas, para construção do aquecedor, com plásticos transparentes (cristal), lisas tipo água mineral “Santa Catarina” (6 unidades) e as cinturadas tipo Coca-Cola (6 unidades). As garrafas foram doadas pela Associação de Coletores de Materiais Recicláveis (ACMR) localizada atrás da Companhia Melhoramentos da Capital (Comcap) em Florianópolis. Posteriormente as garrafas foram lavadas com detergente e secadas no sol.

Com ajuda de um estilete, cortou-se a base das garrafas de coca cola e duas das garrafas de água de 600 ml. As 4 outras tiveram um corte arredondado do tamanho do tubo de PVC (20mm) e um corte transversal para poder colocar as caixas Tetra Pak. Pelos cortes, foram ajustadas as garrafas entre si e coladas, para evitar a fuga do calor gerado e proteger da entrada de umidade.

Junto com as garrafas, foram coletadas 12 caixas vazias de Tetra Pak (leite), usando oito dentro elas. As caixas foram abertas pela parte de cima, onde há o picote de consumo, para descolar as “orelhas” que a mantém montada. Em seguida, foram lavadas (com detergente) e posicionadas para que escoamento de toda água.

Após a secagem, as embalagens foram cortadas visando adotar um único tamanho para os diversos tipos de garrafas, com 15 cm de comprimento e um corte de 5 cm na parte de baixo da caixa, para encaixe do gargalo na próxima garrafa. O material foi dobrado aproveitando os próprios vincos laterais da embalagem além de mais duas em diagonal na parte de cima, para que se amoldar a curvatura superior interna da garrafa (Figura 31), dando também sustentação à caixa e mantendo-a reta e encostada no tubo de PVC.

Figura 31. Caixa de leite cortada, pintada de preto fosco, para ser colocada dentro da garrafa.



Fonte: Autor, 2015.

Dimensionou-se as 4 tubulações do coletor solar com tubos de PVCs (0,60m cada tubo). Em razão dos diversos tamanhos e modelos de garrafas existentes, foi realizada uma seleção prévia antes de cortá-las, para, em seguida, encaixá-las em fileiras de 4 garrafas. Utilizou-se quatro garrafas por tubulação para facilitar a instalação do coletor solar em relação à altura do boiler, e respeitar a área de coleta padrão para os três tipos de coletores, ou seja, de 0,30m x 0,80m.

Os tubos das colunas foram pintados com a mesma tinta aplicada nas caixas. A distância entre os tubos de aquecimento foi de 4 cm e mantidos sem pintura.

As tubulações, superiores e inferiores, foram compostas de 4 conexões “T” e 4 espaçadores de 4 cm (Figura 32).

Figura 32. Cada barramento do coletor foi composto por 4 conexões “T” e respectivos distanciadores de 4cm.

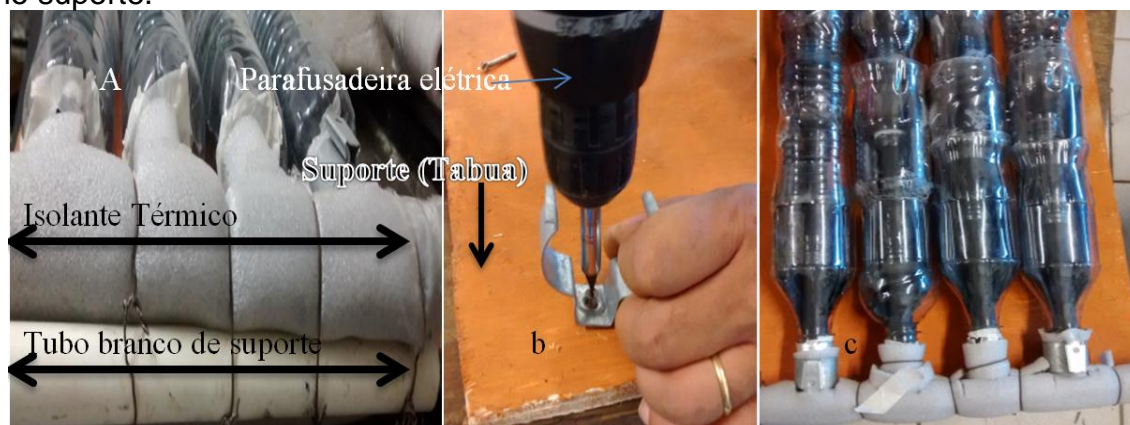


Fonte: Autor, 2015.

Depois de ser montado, dois tubos brancos de esgoto de 40mm foram amarrados às tubulações, com arame utilizado para fixar alambrados. Além disso, o coletor foi fixado numa tabua de suporte. Com o coletor amarrado e ainda

no chão, procedeu-se à instalação do dreno, das tubulações (mangueira), das uniões e ligado ao tambor por duas entradas, deixando-os prontos para serem içado e fixado no cavalete de inclinação (Figura 33).

Figura 33. Fixação do coletor solar no suporte; a) coletor amarrado no tubo de PVC branco; b) Parafusando o suporte numa tabua de madeira; c) Coletor fixado no suporte.



Fonte: Autor, 2015.

12.1.3- Aquecedor solar desenvolvido pela UFSC

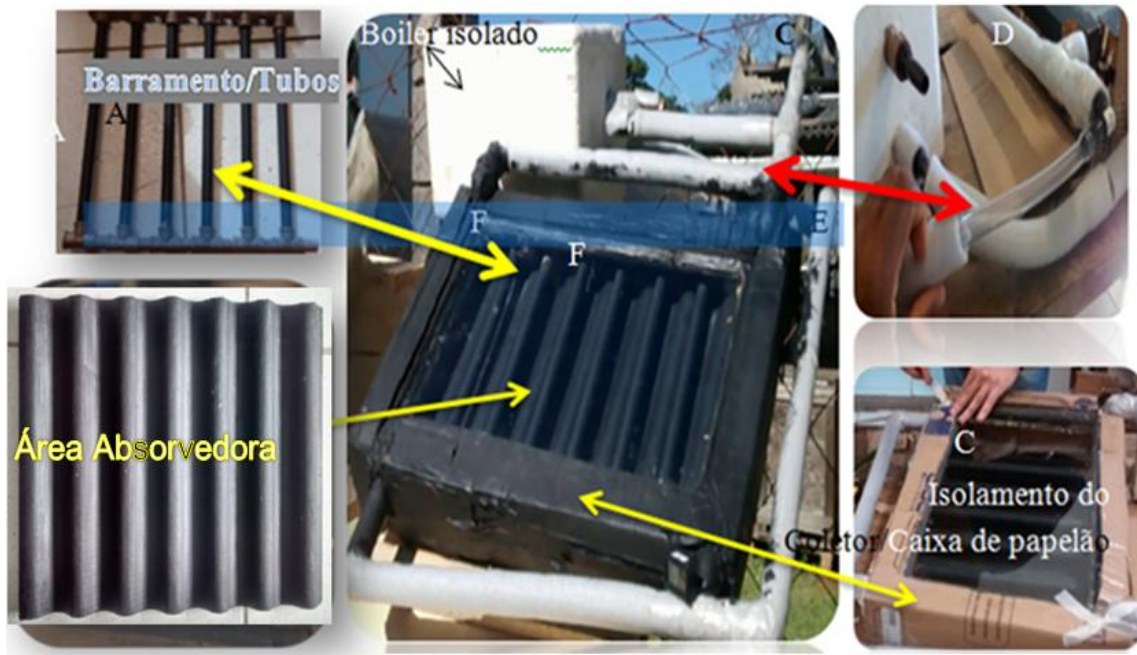
Foi construído um coletor solar com telhas fibrocimento (0,50 x 0,30 m x 0,09m), 13 tubos de PVC; um suporte de madeira revestido com papelão, e um vidro comum de 3 cm de espessura. Os tubos de água foram dispostos nas 6 canaletas das ondas do lado superior do telhado e nas 7 cristas das ondas da parte inferior do telhado, totalizando área útil (padrão igual aos outros) de absorção térmica de 0,15 m². O coletor foi conectado a uma caixa lata (boiler) 2 litros, com função de reservatório, revestida com isopor de 20 mm de espessura.

O vidro, a caixa de madeira e o papelão têm como função proteger o interior do coletor das interferências externas, principalmente ventos e oscilações da temperatura, criando o efeito estufa. O calor absorvido pelo telhado, pintado de preto fosco, fica retido no interior do conjunto e é transferido pelas tubulações de PVC, pintadas de preto.

Em seguida o conjunto foi inserido num caixa de madeira deixando fora as partes superior e inferior das conexões. As superfícies de contato entre a telha e a de madeira foram isoladas com poliuretano expandido para minimizar a perda de calor por condução e na parte superior da caixa colocou-se um vidro (0,50 x 0,30m, 0,03) comum transparente, cujo rendimento óptico situa-se na faixa de 75

a 80% na incidência perpendicular de luz (Palz, 1995), para que ocorra o efeito estufa, como mostra a Figura 34.

Figura 34. Diferentes partes e etapas de construção do aquecedor solar desenvolvido pela UFSC: A) Barramentos/tubos; B) Telhado (área absorvedora) C) Isolamento do coletor com caixa de papelão, antes de ser pintado de preto fosco D) Isolamento dos tubos de conexões/mangueiras; F) Coletor solar acabado.



Fonte: Autor, 2015.

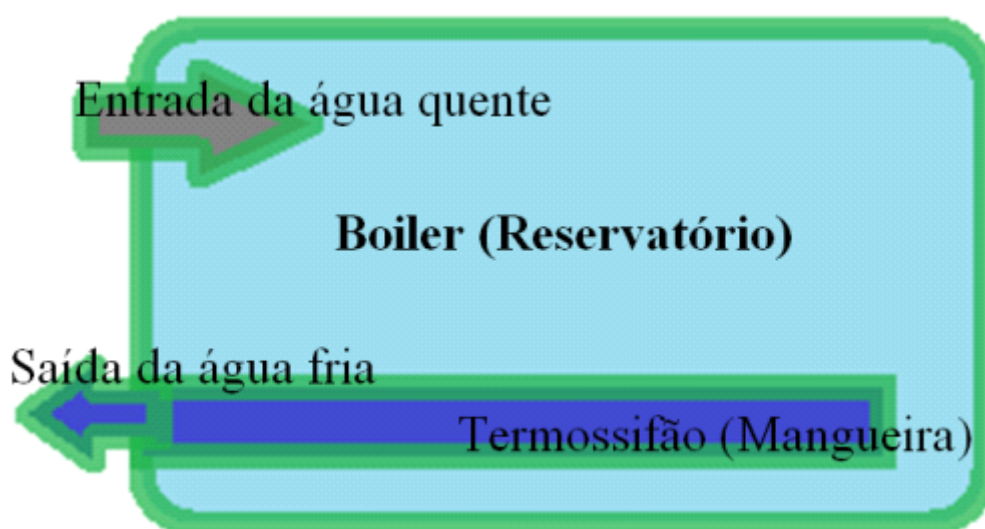
O sistema foi fechado e o vidro foi fixado exatamente em cima da área do telhado. Esse cuidado foi necessário para garantir a vedação do coletor solar e para não ocorrer perda de calor gerado dentro dele.

12.2- Caixa d' Água ou Reservatório

Para cada tipo de coletor solar, usou-se, uma lata (ou boiler) para ervilha de 2l como reservatório de água quente. Foram bem lavados, com detergente e água. Em relação à este tipo de reservatório, foram feitos dois furos na base oposta à abertura da lata, para os flanges. Foi instalada a entrada de água quente do coletor solar para o tambor na parte de cima, e a saída de água fria para o aquecedor na parte de baixo do boiler. Usou-se adesivo “Durepox”, para fechar as tampas das latas.

Baseando no princípio de funcionamento por termossifão, o que melhor se adapta a sistemas simples, como neste trabalho. Colocou-se um pedaço de mangueira (16 cm) na saída inferior de dois reservatórios (coletor solar: CELESC e UFSC). Desta maneira a água mais fria do fundo do boiler caminhava para o coletor e a água quente do coletor caminhava para a parte superior do boiler. Essa diferença de altura entre a tubulação de saída e a de entrada foi necessária para garantir a circulação da água no coletor pela diferença de densidade entre a água quente e a fria (Figura 35).

Figura 35. Esquema do Sistema de Termossifão para garantir a retirada da água fria na parte inferior do boiler a partir de uma mangueira.

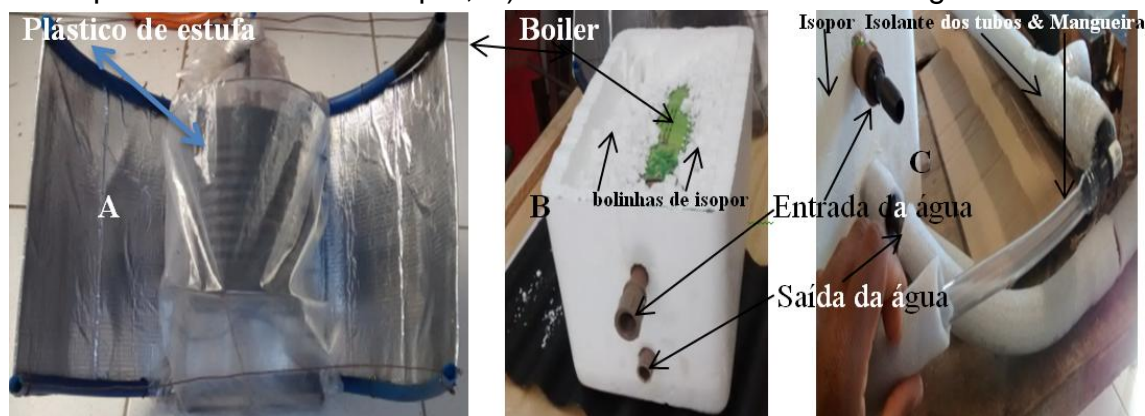


Fonte: Autor, 2015.

12.3- Isolamento térmico do Boiler ou Reservatório e os Tubos de Conexões

O isolamento térmico da caixa d'água, dos tubos de PVCs e das mangueiras garantiu que não houvesse troca de calor com o meio externo. De um lado, o reservatório do aquecedor-USP foi pintado de preto usando tinta esmalte sintético preto fosco. Depois foi coberto por um plástico de estufa, promovendo o efeito de estufa (Figura 36a). Por outro lado, os outros coletores (CELESC e UFSC), usou-se uma caixa de isopor para evitar a troca de calor com o meio externo. Os espaços vazios foram preenchidos com bolinhas de isopor, para isolar o calor (Figura 36b). Os tubos, foram isolados termicamente com isolante tubular cuja secção interna é de 4 cm de diâmetro (Figura 36c).

Figura 36. Reservatório de água ou boiler dos Aquecedores solar: A) Reservatório coberto por um plástico de efeito de estufa B) Reservatório na caixa de isopor e com farelo de isopor; C) Isolamento dos tubos e mangueiras.



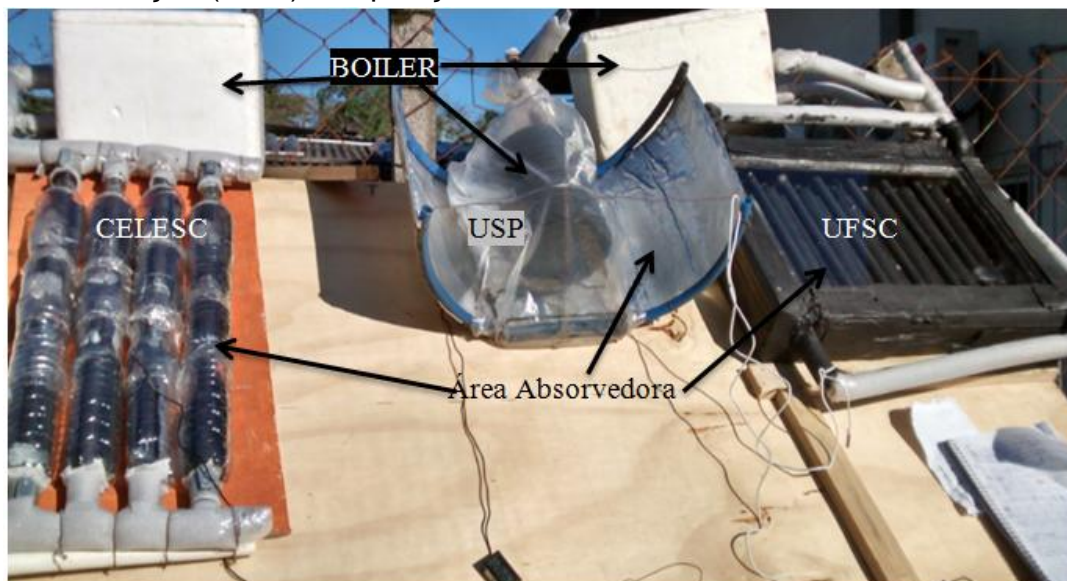
Fonte: Autor, 2015.

Os reservatórios foram instalados próximo aos coletores solares, para garantir a eficiência na circulação e no aquecimento.

12.4- Posicionamento

Os três coletores solares foram dispostos sobre um cavalete, para manter a inclinação necessária 10° a 15° maior que a latitude do local (no inverno) em função da posição do sol, permitindo que os raios solares incidissem perpendicularmente sobre o coletor, aumentando a eficiência do sistema. Como o experimento foi realizado no inverno, optou-se uma inclinação de 38° (latitude do local + 10°). O conjunto foi voltado para o norte, num local ensolarado e livre de obstáculos, como árvores e construções. O cavalete foi construído de madeira para sustentar a carga dos três coletores cheios de água (Figura 37).

Figura 37. Os Três coletores em cima do único cavalete de madeira com a mesma inclinação (38°C) e exposição ao sol.



Fonte: Autor, 2015.

Os coletores foram instalados na Estação de Fontes Alternativas de Energia (EFAE) do CCA/UFSC no dia 11, 15 e 16 de junho de 2015, para coleta dos dados.

13- BANCADA

13.1- Instrumentação

Antes de instrumentar os aquecedores solares, os sensores de temperatura foram calibrados. Após a instrumentação dos aquecedores foram coletados dados de temperaturas para avaliar o desempenho dos três coletores solares.

13.1.1- Calibração dos termômetros

Os termômetros digitais (6) com sensor externo modelo TL8009 Shenzhen AOV®, e o termohigrômetro com sensor interno e externo modelo 7666.02.0.00 Incoterm®, com precisão de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, foram calibrados utilizando como padrão um equipamento Banho-Maria; MARCONI® modelo MA 156; 1600 Watts, 220 VAC; N° Serie 120850654.

Utilizou-se um banho de gelo para poder abaixar a Temperatura até 10°C nos quais os termômetros foram imersos. Em seguida foram lidos os valores da temperatura variando de 10°C a 70°C com intervalos de 5°C , dessa forma obteve-se 13 temperaturas pontuais. Também mediu-se a temperatura ambiente (na sombra e no sol) do ar assim como da água. A obtenção desses dados foi comparada a temperatura marcada no Banho Maria e analisadas estatisticamente. Usou-se de regressão linear e obtiveram-se as curvas de calibração de cada um dos 7 termômetros (Figura 38).

Figura 38. Calibração dos termômetros com auxílio de um banho-maria e um termohigrômetro com medições de UR (%) e T ($^{\circ}\text{C}$).



A Tabela 4 a seguir apresenta a calibração dos sensores de temperatura (6 sensores modelo TL8009 Shenzhen AOV[®], termohigrômetro e Banho Maria) em função das diferentes temperaturas nos coletores. A temperatura (padrão) do equipamento Banho Maria (MARCONI[®] modelo MA 156; 1600 Watts) foi modificada de 5 em 5°C de 10 até atingir 70°C.

Tabela 4- Calibração dos 7 sensores de temperatura (6 TL8009 e 1 termohigrômetro) a partir da temperatura padrão (Banho Maria).

Sensor	Temperatura marcada em cada sensor em °C												
Padrão	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
1	12,5	17,5	23,5	28,1	31,7	36,2	39,5	44,8	49,8	55,1	58,5	62,2	66,2
2	12,2	17,4	22,5	27,2	31,3	35,8	39,6	44,3	48,4	54,8	58,2	63,3	67,8
3	13,4	18,3	23,5	28,2	32,2	36,7	40,5	45,4	50,1	55,2	59,1	64,5	68,9
4	12,4	17,5	24,6	29,2	32,3	36,6	40,6	44,7	49,6	54,5	57,6	63,2	67,5
5	12,1	17,1	21,3	25,8	31,2	35,5	39,9	43,6	48,3	52,9	57,6	63,9	68,5
6	12,1	16	19,9	23,8	29,1	35,2	39,9	44,5	49,6	54,1	58	62,9	66,9
7	10,5	16,3	19,7	25	30	36,4	40,3	46	51	56,2	61,2	63,9	69,7

Elaborado pelo autor.

13.2- Aquisição de Dados

Cada coletor solar foi equipado com um termômetro digital com sensor externo, para medir a temperatura do ar aquecido pelo efeito estufa. A temperatura da água de cada reservatório foi monitorada por três sensores em três níveis de profundidades, ou seja, de 2 cm, 8 cm e 16 cm. E a temperatura ambiente foi monitorada com termohigrômetro.

As leituras nos devidos termômetros foram realizadas em intervalos de 30 minutos, entre 9:30 e 15:00 h (12 medições por coletor). A radiação solar global foi obtida no site ciram.com.br da Epagri que registrou a radiação solar em gráficos. A radiação incidente no coletor foi obtida multiplicando-se a radiação solar total pela área da superfície de coleta e o seu rendimento (Eficiência) energético obtido pela equação proposta por Bezerra (1979) e Palz (1995).

$$E_f = Q_r / Q_a$$

Em que: Q_r : Quantidade de Energia recebida pelo coletor solar

Q_a : Quantidade de Energia (calor) Acumulada pelo fluido (água).

$$Q_r = I \cdot A = 891,123 \text{ W}$$

$$Q_a = m \cdot c \times (T_f - T_i)$$

Em que:

I = Intensidade total da radiação solar = 5940,82 W

A = Área do absorvedor = 0,15 m²

M = massa do fluido (água) = 2kg

C = calor específico do fluido = 4, 179 J kg⁻¹.°C⁻¹

T_f = Temperatura do fluido (água) no final da coleta no coletor (1 ou 2 ou 3)

T_i = Temperatura do fluido (água) no início da coleta no coletor (1 ou 2 ou 3)

13.4- Medições das Temperaturas

As medições da temperatura internas de cada coletor solar, do ambiente e da umidade relativa do ar foram adquiridas através de sensores já posicionados na parte interna do coletor e no ambiente de coleta. Para determinação da temperatura da água, agitou-se o recipiente antes de colocar os sensores em três alturas diferentes nos reservatórios, localizados acima dos coletores. Estas medições permitiram obter a temperatura média da água contida no recipiente. Os sensores foram fixados em haste de metal e

distanciados entre si, sendo posicionados a 2cm, 8cm e 16cm de profundidade nos boilers, deixando 2 cm superior e inferior do reservatório sendo que este apresenta 18cm de profundidade. Dessa forma foi possível obter a temperatura média da água de cada boiler e construir uma curva de medição. Foi utilizado o programa estatístico Stat para testar as médias (Tukey), por meio de análise de variância, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

13.5- Procedimento do Ensaio

Foram realizadas dois testes para verificação do funcionamento. Verificou-se no primeiro teste (11/06/2015) se há a existência de vazamentos, o aumento de temperatura e circulação de água entre o coletor e o reservatório de água quente. O teste teve que ser interrompido devido a chuva. Por isso conseguiu-se coletar dados das 12:00h até 13:30h. O segundo teste, foi realizado em 15/06/2015. Verificou-se que não houve problema nos coletores, mas um dos sensores teve que ser substituído por problemas de dificuldade de leitura.

O ensaio foi realizado no dia seguinte (16/06/2015) com os termômetros calibrados, e os coletores funcionando. Coletou-se dados entre 9:30 até 15:00 horas de 30 em 30 minutos, totalizando 12 coletas.

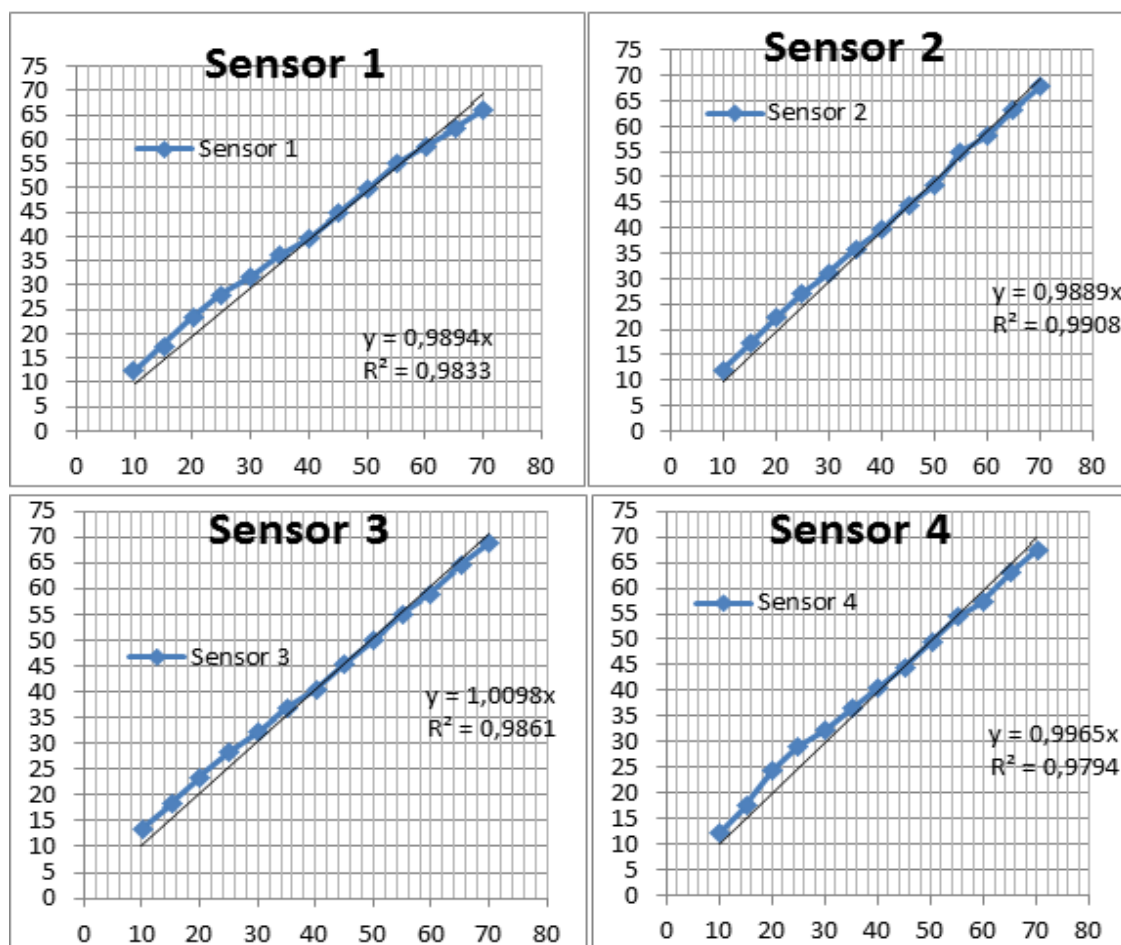
14- RESULTADOS E DISCUSSÃO

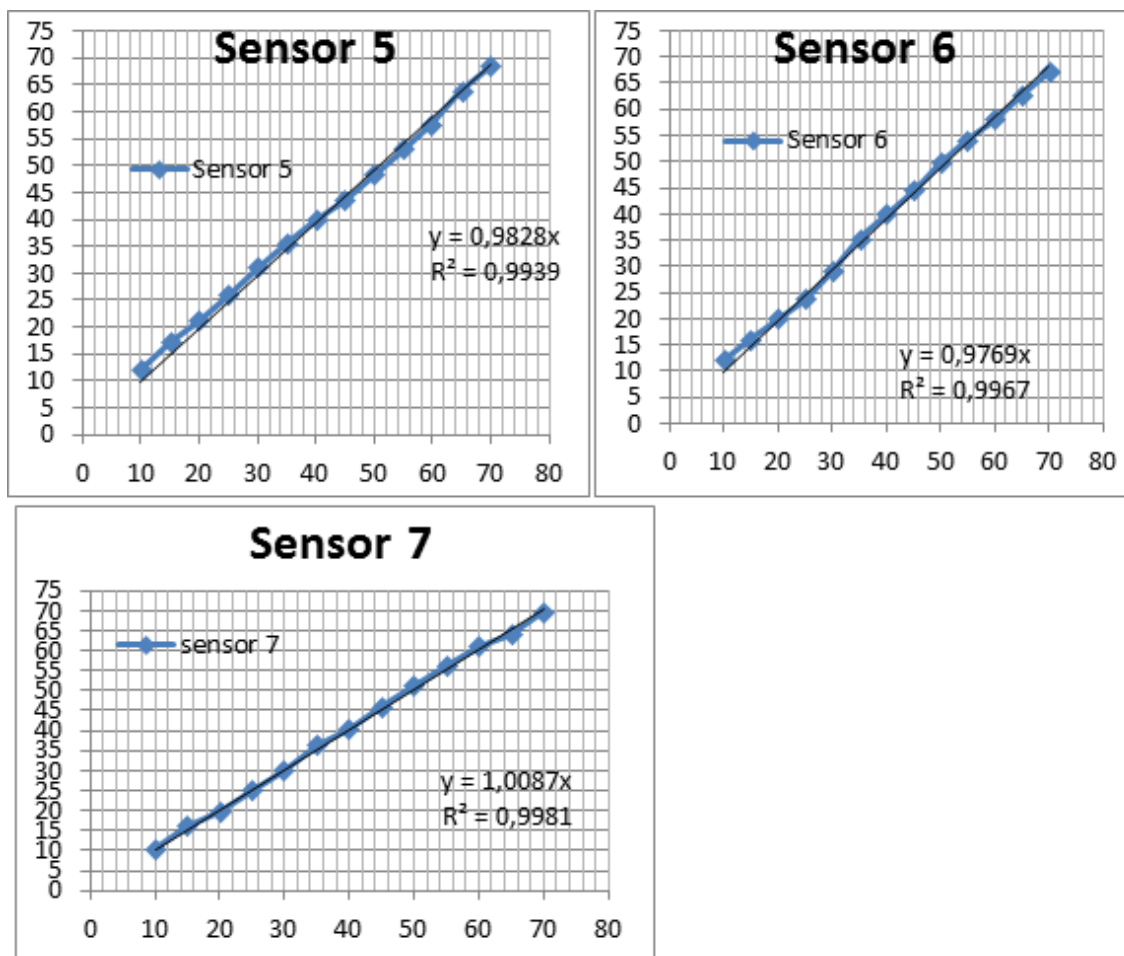
14.1- Calibração dos Termômetros

Os gráficos da Figura 39 mostram, os dados coletados e as curvas de calibração dos sensores de temperatura, para obtenção dos valores de coeficientes de determinação e o fator de correção. Sendo que no eixo y é a temperatura do Banho Maria e no eixo x é a temperatura em intervalo de regulado.

Como pode ser observado em cada gráfico, os coeficientes de determinação foram próximos de 1 o que garantiu uma grande precisão da calibração dos sensores.

Figura 39. Curvas de calibração dos sensores de temperatura.





Elaborado pelo autor

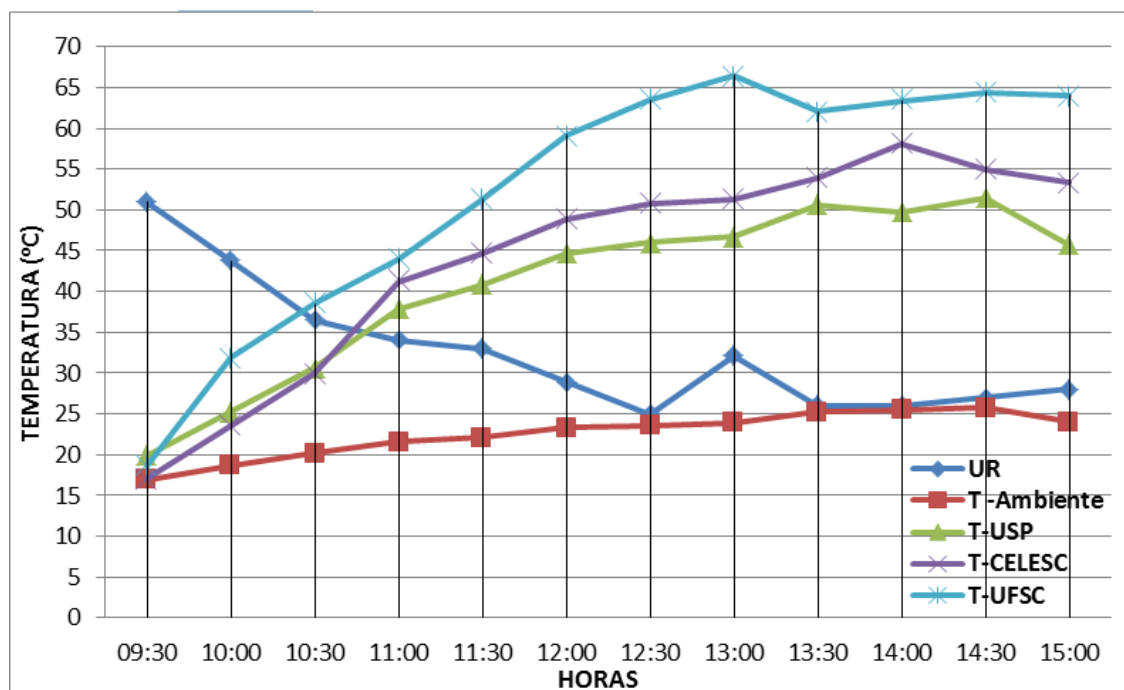
14.2- Medição das temperaturas

Os resultados obtidos de umidade relativa do ar, temperatura do ambiente, temperatura interna de cada coletor e temperatura média da água aquecida no boiler de cada aquecedor entre 9:30h até 15:00h estão apresentados nos Figura 40 e Figura 41.

Pode-se verificar que no início das medições, a umidade relativa do ar diminuiu devido ao aumento da temperatura do ar ambiente até 12:00h e depois permaneceu estável até no final da coleta (Figura 40). As temperaturas do ar no interior dos coletores (efeito de estufa) encontravam-se próxima da temperatura do ambiente no início das medições. Com o aumento da intensidade de radiação solar, no decorrer do dia, houve aquecimento crescente no interior dos coletores até atingir temperatura máxima entre 12:00h e 14:00h. Observou-se que a temperatura no interior do coletor-3 (UFSC) foi maior ao longo do experimento em relação aos demais. Isto mostra que o

coletor UFSC tem um grande potencial de aquecimento comparado com os outros dois aquecedores.

Figura 40. Comportamento temporal da umidade relativa do ar; temperatura do ambiente e temperatura interna de cada coletor durante período de coleta de dados.



UR= Umidade relativa do ar; T Ambiente =Temperatura do Ambiente externo; T-USP = Temperatura ar interno do coletor 1 (USP); T-CELESC = Temperatura interna do ar do coletor 2 (CELESC) e T-UFSC= Temperatura interna do ar do coletor 3 (UFSC).

A diferença de temperatura média interna de cada coletor (Figura 40) pode ser verificada através de análises estatísticas pelo teste de turkey 5% de probabilidade na Tabela 5 a seguir.

Verificou que a temperatura interna do coletor- UFSC (52,81°C) foi maior do que outros, ou seja, CELESC 43,94°C e USP 40,78°C.

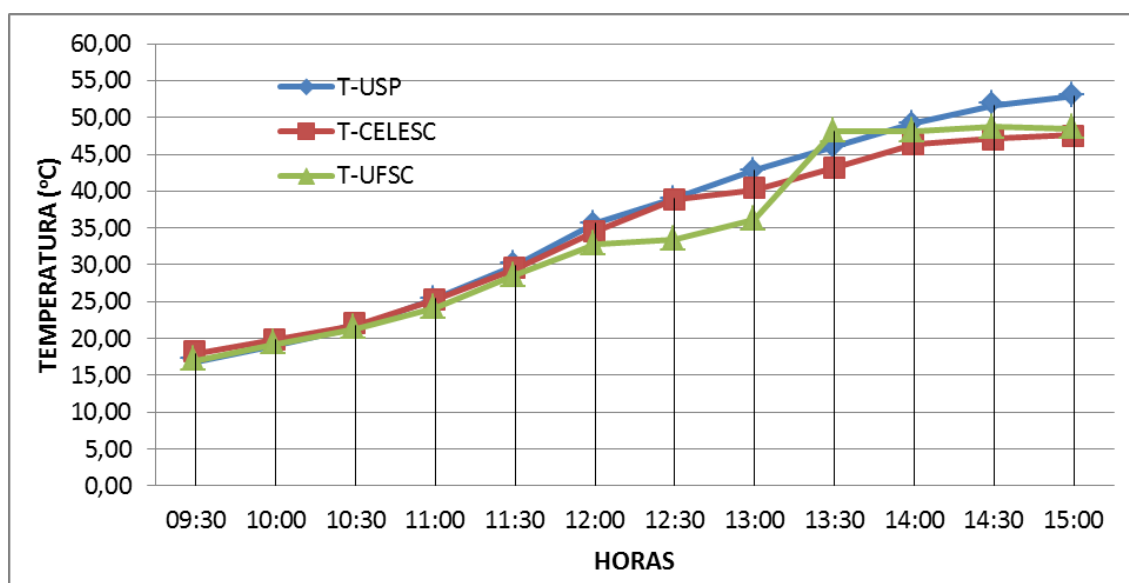
Tabela 5. Temperatura média interna de cada coletor e da água aquecida para cada aquecedor.

Tratamento	Temperatura interna (°C)
Aquecedor- USP	40,78 C
Aquecedor- CELESC	43,94 B
Aquecedor- UFSC	52,81 A
CV (%)	6,12

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Analisando a Figura 41, nota-se que a temperatura média da água nos três boilers apresentou comportamento similar frente às variações de radiação do dia. A partir das 13:00h, houve estabilização da temperatura da água do boiler nos aquecedores 2 e 3 (CELESC & UFSC), enquanto o aquecedor 1 (USP) continuou seu aquecimento até o final da coleta. Verifica-se também que aproximadamente 11:30 e 13:15h a temperatura da água do aquecedor-3 (UFSC) foi a menor obtida. No entanto por volta de 13:30h e 14:00h o mesmo aquecedor apresentou temperatura maior dos demais, isto ocorreu simultaneamente quando a radiação solar foi maior (661,05 a 629,64 w/m²). O aquecedor-1 (USP) foi o que obteve maior ganho de calor e manteve a água aquecida durante o experimento.

Figura 41. Comportamento da Temperatura média da água no boiler de cada Aquecedor durante o período de coleta de dados.



T-USP = Temperatura média da água no boiler do aquecedor 1 (USP); T-CELESC = Temperatura média da água no boiler do aquecedor 2 (CELESC) e T-UFSC= Temperatura média da no boiler do aquecedor 3 (UFSC).

Na Tabela 6 são apresentados as análises estatísticas da Temperatura da água aquecida para cada aquecedor e para cada horário de coleta.

Nota-se que a Temperatura da água (35,8°C) do aquecedor-1 (USP) foi maior, do que os outros aquecedores.

Tabela 6. Temperatura da água aquecida para cada aquecedor e a cada horário de coleta

Tratamento	Temperatura (°C)
Aquecedor- USP	35,8 A
Aquecedor- CELESC	34,3 B
Aquecedor- UFSC	33,8 B
CV (%)	3,04
Horário (h)	Temperatura (°C)
09:30	17,26 A
10:00	19,35 B
10:30	21,53 C
11:00	24,96 D
11:30	29,30 E
12:00	34,30 F
12:30	37,12 G
13:00	39,70 H
13:30	45,76 I
14:00	47,84 J
14:30	49,13 L
15:00	49,63 L
CV (%)	2,05

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância. Elaborado pelo autor, 2015.

A Tabela 7 apresenta a Interação entre os fatores aquecedores e horário de coleta para a variável temperatura (°C) da água aquecida. Observa-se que entre 9:30h e 11:30h as médias da temperatura não se diferiram entre si. O aquecedor-1 (USP) apresentou melhor desempenho após 14:30h. As 13:30 h o aquecedor-3 UFSC apresentou melhor desempenho e entre 13:30 h e 14:30 h o aquecedor-2 CELESC apresentou o pior desempenho.

Tabela 7. Interação entre os fatores aquecedores e horário (h) de coleta para a variável temperatura (°C) da água.

Aquecedores	Horário (h)											
	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
T-USP (°C)	16,84Aa	19,06 Ba	21,50Ca	25,47 Da	29,94 Ea	35,71 Fa	39,01 Ga	42,79 Ha	46,11 Ib	49,16 Ja	51,58 Ka	52,94 Ka
T- CELESC (°C)	17,93Aa	19,82Aba	21,75Ba	25,29 Ca	29,40 Da	34,47 Ea	38,91 Fa	40,19 Fb	43,12 Gc	46,31 Hb	47,13 Hc	47,60 Hb
T- UFSC (°C)	17,00 Aa	19,17 Ba	21,34Ca	24,12 Da	28,57 Ea	32,72 Fb	33,45 Fb	36,13 Gc	48,06 Ha	48,06 Ha	48,36 Hb	48,69 Hb

Em cada coluna para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

Em cada linha para cada fator, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de significância.

14.3- Eficiência dos Três Aquecedores Solares Analisados

Na Tabela 8, verifica-se que a eficiência do coletor-1 (USP) apresentou rendimento de 34%, seguido pelo aquecedor-3 (UFSC) de 29,4% seguido do aquecedor-2 (CELESC) de 27,8%. A eficiência dos aquecedores foi maior do que 14% e 19% obtido pelo Denny et al. (2007) e 11% pelo Coimbra et al. (2008). Mas foi menor do que 36% a 41,6% obtido pelo Siqueira (2009).

Tabela 8. Variação horária da radiação solar total, Radiação solar incidente no coletor, energia acumulada no líquido e eficiência do coletor solar.

Coletor Solar	Intensidade Total da Radiação Solar (w)	Radiação recebida pelo coletor (W)	Energia acumulada no fluido (W)	Eficiência do coletor (%)
1- USP	5940,82	891,123	303	34,0
2- CELESC	5940,82	891,123	248	27,8
3- UFSC	5940,82	891,123	262	29,4

Elaborado pelo autor

A Tabela 9 apresenta a energia acumulada na água aquecida para cada aquecedor, para cada horário de coleta. A Tabela 10 apresenta a interação entre os fatores aquecedores e horário (h) de coleta para a variável energia acumulada (W) da água: avaliadas a partir do teste Tukey a 5%.

Verifica-se que a media de energia acumulada na água do aquecedor-1 (USP) foi maior (158,84 W) em relação aos outros aquecedores, bem como no decorrer do dia houve um acúmulo de energia crescente da água dos Aquecedores até o final da coleta (15:00h).

Na Tabela 10, verifica-se a interação entre os aquecedores e horário de coleta para a variável energia acumulada na água, observa-se que no início da coleta (entre 9:30h e 11:00h), as médias da energia acumulada não diferiram entre si. Nos horários de 12:00 h, 13:00 h, 13:30h, 14:30 h e 15:00 h o aquecedor-USP apresentou maior média de Energia acumulada, seguido pelo aquecedor-UFSC que superou o aquecedor-CELESC no final da coleta (entre 13:30h – 15:00h). Este resultado mostra que o aquecedor UFSC pode superar

outros aquecedores aumentando a eficiência na transferência de calor do coletor para a água, com algumas modificações no material utilizado.

Tabela 9- Energia acumulada na água aquecida para cada aquecedor, a cada horário de coleta.

Tratamento	Energia Acumulada (W)
Aquecedor- USP	158,84 A
Aquecedor- CELESC	137,04 B
Aquecedor- UFSC	141,27 B
CV (%)	4,26
Horário (h)	Energia Acumulada (W)
09:30	0,00 A
10:00	18,63 B
10:30	38,92 C
11:00	72,16 D
11:30	109,55 E
12:00	157,75 F
12:30	185,36 G
13:00	216,93 H
13:30	244,64 I
14:00	270,12 J
14:30	290,37 L
15:00	301,72 L
CV (%)	4,49

Em cada coluna para cada fator, medias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Interação entre os fatores aquecedores para variável energia acumulada (W) da água em função do horário.

Horário (h)	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
T-USP (°C)	0,00 Aa	18,63 Ba	38,92 Ca	72,16 Da	109,55 Ea	157,75 Fa	185,36Ga	216,93Ha	244,64 Ia	270,12 Ja	290,37 Ka	301,72 Ka
T- CELESC (°C)	0,00 Aa	15,84 Aba	31,95 Ba	61,56 Ca	95,87Dab	138,22 Eb	175,38 Fa	186,00 Fb	210,50Gc	237,16Hb	244,04 Hc	247,96 Hc
T- UFSC (°C)	0,00 Aa	18,12 Ba	36,25 Ca	59,50 Da	96,69 Eb	131,36 Fb	137,43 Fb	169,88Gc	259,58Hb	259,60Ha	262,05Hb	264,83Hb

Em cada linha para cada fator, medias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em cada coluna para cada fator, medias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

15- ESTIMATIVA DO CUSTO DOS TRÊS AQUECEDORES SOLAR

Os Quadros 1, 2 e 3 apresentam os custos totais para construção de cada aquecedor solar (250L), para aquecer água até a temperatura desejada para o banho (em torno de 40°C) e seu respectivo Payback. Verifica-se que os aquecedores desenvolvidos pela USP, CELESC e UFSC, apresentam custo de construção de R\$350,00; R\$350,00; R\$ 389,40 respectivamente.

Quadro 1. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela USP de PIRACICABA.

Aquecedor-1 (USP)			
Produto	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Cavalete	1	50,00	50,00
Tinta esmalte sintético preto fosco	1kg	24,90	24,90
Tambor -250l	1	150	150
Peças hidráulicas e conexões	--	--	60,00
Mangueira de polietileno	3m	2,60 R\$/m	7,80
Isolante térmico de tubos	3m	1,90 R\$/m	5,70
Manta de alumínio	5 m ²	4,50 R\$/m ²	22,50
Plástico de estufa	2m ²	3,50 R\$/m ²	7,00
Adesivo PVC	1	8,00	8,00
Fita veda rosca 1/2	1	6,00	6,00
Boia p/caixa de descarga	1	8,00	8,00
CUSTO TOTAL			350,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 2. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela CELESC.

Aquecedor-2 (CELESC)			
Produto	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
Cavalete	1	50,00	50,00
Tinta esmalte sintético preto fosco1	1kg	24,90	24,90
Reservatório- 250l	1	135,00	135,00
Peças hidráulicas e conexões	--	--	60,00
Mangueira de polietileno	3m	2,60 R\$/m	7,80
Isolante térmico para os tubos	3m	1,90 R\$/m	5,70
Caixas de leite (Tetra Pak)	200	0,10	20,00
Garrafa PETs	240	0,10	24,00
Fita veda rosca ½	1	6,00	6,00
Adesivo PVC	1	8,00	8,00
Boia p/caixa de descarga	1	8,00	8,00
CUSTO TOTAL			350,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3. Custo total estimado para construção do aquecedor desenvolvido pela UFSC.

Aquecedor- 3 (UFSC)			
Produto	Quantidade	Preço unit. (R\$)	Preço Total(R\$)
Cavalete	1	50,00	50,00
Tinta esmalte sintético preto fosco	1kg	24,90	24,90
Reservatório/tambor- 250l	1	135,00	135,00
Peças hidráulicas e conexões	--	--	60,00
Mangueira de polietileno	3m	2,60 R\$/m	7,80
Isolante térmico para os tubos	3m	1,90 R\$/m	5,70
Telha de fibrocimento	3,1x 1,5m ²	61,95	40,00
Vidro comum transparente (3mm)	3 x 1,5m ²		50,00
Adesivo PVC	1	8	8,00
Boia p/caixa de descarga	8	8	8,00
CUSTO TOTAL			389,40

Fonte: Elaborado pelo autor

Em uma residência de média e/ou baixa renda, os gastos com o chuveiro elétrico pode ser notado considerável em relação ao uso de um aquecedor de baixo custo. Baseado nisso, considerando uma família de 4 pessoas que utiliza o chuveiro elétrico (5,5kW) diariamente durante 15 minutos/pessoa (2 banhos

por dia), o custo de R\$0,1477525/kWh para Grupo A (Residencial Baixa Renda até 30 kWh) (CELESC, 2015), o custo mensal da energia gasta por esta família será:

$$\text{Custo} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \right) = \text{Tarifa} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right) \times \text{E. cons.} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \right) \times 12(\text{mês})$$

Em que: Energia consumida/mês:

$$\text{E. cons} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}} \right) = \text{Pot. do chuveiro} \times \text{tempo (h/dia)} \times \text{N. pessoas} \times 30\text{dias}$$

$$\text{E. cons} = 165 \text{ kWh/mês}$$

$$\text{Dai: Custo(R\$/ano)} = 165 \text{ (kWh/mês)} \times 0,1477525 \text{ (R\$/ kWh)} \times 12 \text{ (mês)}$$

$$\text{Então: Custo} = 292,55 \text{ R\$/ano}$$

Considerando o custo de consumo anual deste chuveiro elétrico de R\$ 292,55, o custo de construção dos três aquecedores; 5 anos de vida útil de cada aquecedor e a taxa anual de juros 6,00%, pode se obter o tempo de retorno do investimento (Quadro 4 e Quadro 5), calculando pelo método de *Payback*, da seguinte forma:

$$\text{Payback} = \frac{\text{VI}}{\text{FC (atualizado)}}$$

Em que:

PB = Payback;

VI = Valor do investimento

FC (atualizado) = o valor do fluxo de caixa atualizado à taxa de juros considerada.

Quadro 4. Calculo do Retorno do investimento (Payback) do Aquecedor-1 (USP) e do Aquecedor-2 (CELESC).

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo Acumulado (R\$)
0	-350,00	-350,00
1	292,55	276,00
2	292,55	260,40

Quadro elaborado pelo autor

$$\text{Aplicado o payback: } \frac{350}{276,0} = 1,3$$

Payback = 1ano e 3 meses

Quadro 5. Calcula do Retorno do investimento (Payback) do Aquecedor-3 (UFSC).

Ano	Fluxo de Caixa (R\$)	Fluxo Acumulado (R\$)
0	- 389,40	-389,40
1	292,55	276,00
2	292,55	260,4

Quadro elaborado pelo autor

$$\text{Payback} = \frac{389,40}{276,00} = 1,4$$

Payback = 1 ano e 4 meses

Desta forma o aquecedor desenvolvido pela USFC apresenta maior custo de construção, com uma diferença de R\$ 39,4 em relação aos outros, devido aos dois materiais (telha de fibrocimento e vidro comum transparente). Nota-se que o tempo de retorno do investimento (Payback) dos aquecedores desenvolvidos pela USP e CELESC é de 1 ano e 3 meses praticamente um mês a menos do que da UFSC (1 ano e 4 meses).

16- CONCLUSÕES

16.1. Experimento Realizado com os Aquecedores

Os aquecedores foram construídos, instrumentados e instalados de forma satisfatória e possibilitou a realização de coleta de dados.

O isolamento térmico das mangueiras e dos reservatórios (boiler) foi indispensável, evitando possíveis perdas de calor, favorecendo maior eficiência dos aquecedores.

As maiores temperaturas da água nos coletores foram obtidas após 13:00 até 15:00h.

O Aquecedor-USP obteve em geral maior ganho de calor 35,8°C, seguido CELESC 34,3°C e do UFSC 33,4°C.

Houve maior aquecimento da água no aquecedor desenvolvido pela UFSC entre 13:30h e 14:00h.

O Aquecedor-USP apresentou maior eficiência em energia acumulada na água aquecida, 158,84 W, seguido do Aquecedor-UFSC, 141,27 W e por último o Aquecedor-CELESC 137,37 W.

O custo final estimado dos coletores solar desenvolvido pela USP e CELESC (aproximadamente R\$350,00) e seu respectivo retorno de investimento (aproximadamente 1 ano e 3 meses), ficou inferior ao custo do coletor desenvolvido pela UFSC (aproximadamente R\$389,00 e Payback 1 ano e 4 meses).

Os três aquecedores mostraram custo inferior a um aquecedor convencional, devido a utilização de materiais recicláveis.

Um dos benefícios da utilização de aquecedores solares é a economia financeira proporcionada pelo menor consumo de energia elétrica e o uso de uma fonte de energia limpa, renovável e inesgotável.

A temperatura final no interior do coletor 3 (UFSC) foi de 10°C maior do que do coletor 2 (CELESC) e 30°C maior do que do coletor 1 (USP), mostrando o grande potencial de aquecimento do coletor da UFSC.

Ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar mais ensaios com maior número de dias e horas de coleta (dia inteiro de radiação solar), em dias com diferentes nebulosidades nas diferentes estações do ano (maior representação estatística);
- Desenvolver uma bancada de ensaio com fixação dos sensores de temperatura (em três níveis) dentro de cada boiler (reservatório) para poder controlar a temperatura e simultaneamente traçar a sua curva de eficiência em todo período de operação;
- Melhorar a transferência de calor do coletor para a água do aquecedor tipo UFSC e avaliar sua eficiência.

17. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos sistemas de energia alternativa, limpa é encarada como estratégica do futuro devido aos benefícios que essa tecnologia proporciona, tanto para o usuário, quanto para o meio ambiente.

Do ponto de vista da sobrevivência do nosso planeta, a utilização dessa tecnologia possibilita menor dependência de fontes fósseis para produzir energia. Isto colabora com a redução de emissão de gases do efeito estufa.

As duas experiências proporcionadas pelo estágio no Laboratório G-Óleo da universidade Federal de Lavras (UFLA), e no Laboratório Mecânica, Motores e Maquinas (LMMM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foram extremamente valiosas em todos os aspectos.

No G-Óleo (UFLA), as relações com os professores e alunos envolvidos no estágio, foram amigáveis, onde demonstramos que podemos aquilatar as dificuldades que norteiam as relações humanas e de trabalho. A troca de conhecimentos (convivência), cultura, agregou valor tanto profissional quanto social. Vale relatar, do esforço muito valioso realizado pelo prof. Pedro Castro Neto (supervisor), o período de doenças e perda de um membro da sua família dificultou o maior aproveitamento do estágio, além deste foi realizado nas férias (redução das atividades acadêmicas e laboratoriais). Foi muito proveitoso este período para permitir contato com assuntos e atividades que não haviam sido abordados durante os anos do curso.

No LMMM/EFAE/CCA (UFSC), por ser membro, aluno, monitor da disciplina de “Mecanização Agrícola” (há três semestres) e orientado por um dos professores responsável, as relações sociais foram altamente positivas, amigáveis e respeitadas. O entusiasmo (curiosidade) tanto do pessoal do LMMM, quanto do CCA, incentivou a buscar alternativas na construção dos três aquecedores, na montagem e instrumentação do experimento. Seria muito interessante criar um curso de pós-graduação na área de Engenharia Rural a qual melhoraria a qualidade e a quantidade dos trabalhos dos professores responsáveis que estão sobrecarregados tanto com aulas como com projetos de pesquisas.

A UFLA (G-Óleo) quanto a UFSC (LMMM) possuem excelentes recursos humanos dinâmicos e criativos e uma excelente estrutura física.

Foi desafiador e ao mesmo tempo gratificante, na medida em que fui testado em diversos campos do conhecimento. Faltam palavras para descrever o quanto foi importante esta oportunidade de colocar em prática os conhecimentos teóricos, adquiridos no decorrer do curso da Agronomia.

Conclui-se que os objetivos propostos foram atingidos, por ter contato e/ou participar nas pesquisas e/ou trabalhar em diversas atividades relacionadas à “Energia Alternativa”, como cadeia de produção de Biodiesel e desenvolvimento de um protótipo de aquecedor solar (análise de eficiência), envolvendo inclusive a parte de orçamento (custo de construção). Pois, a busca de uso de energia limpa é socioeconomicamente e ambientalmente sustentável.

Finalmente, esta experiência pode abrir novas possibilidades profissionais e servir também para testar, nosso interesse, nossa vocação, nossa capacidade de adaptação e de trabalho, frente às constantes adversidades.

17. REFERÊNCIAS

ABREU, S. M. **ENERGIA RENOVÁVEL: BIOGÁS E BIODIESEL**, Relatório Final de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); FLORIANÓPOLIS – SC; 2012

AGROLINK; **Soja- Histórico**, 2012. Disponível em <http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/historico.aspx> >Acesso em 16/05/2015 acessado em 16/05/2015.

AIKAWA, S., MATA S. F., ROMANI, S. C. A. **Importância dos coletores na viabilização da secagem de grãos com energia solar**. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE PRODUTOS AGRÍCOLAS COM ENERGIA SOLAR, 1983, Campinas. Anais- Campinas: UNICAMP, 1983. p.30-87.

ANEEL; AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília-DF, 2005. 2ª Edição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. Acesso em 21/05/2015.

ANEEL; AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Fontes renováveis. Parte II. Cap. 5, Outras Fontes:** Disponível em http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap5.pdf Acesso em 16/05/2015.

ANP; AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Boletim Mensal. **Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis**; MARÇO DE 2015; Disponível em www.anp.gov.br > Acesso em maio 2015.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA AGROENERGIA. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2006.: Disponível em: <http://www.estantevirtual.com.br/b/beling-romar-rudolfo/anuario-brasileiro-da-agroenergia-2006-brazilian-agroenergy-yearbook/4209742153>> Acesso em 16/05/2015.

APROBIO. **BOLETIM MENSAL DOS COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS. Março/2015.** Disponível em <http://www.aprobio.com.br/mercado.html> acessado em 16/05/2015.

BATALHA, R. R. M. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FLUIDO DINÂMICAS DO ÓLEO DE MORINGA OLEIFERA.** Congresso Brasileiro de Química; Porto-Alegre/RS; 2009. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2009/trabalhos/13/13-442-4130.htm>> Acesso em junho 2015.

BEEDLOW, P. A., TINGEY, D.T., PHILLIPS, D. L., HOGSETT, W. E., OLSZYK, D. M. **Rising atmospheric CO₂ and carbon sequestration in forest.** *Frontiers in Ecology and the Enviroment*, v. 2, p. 315 – 322, 2004.

BIODIESELBR. **HISTÓRICO DO BIODIESEL. 2015.** Disponível em [ttp://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/biodiesel-historia.htm](http://www.biodieselbr.com/biodiesel/historia/biodiesel-historia.htm). Acesso em 16/05/2015.

BUENO, C. R. F., FREITAS, S. M., NACHILUK, K. **Produção e aplicações do sebo bovino.** Texto para discussão no 32/2012. Instituto de Economia Agrícola (IEA) São Paulo, 2012. Disponível em: < <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/TD/td-32-2012.pdf>> Acesso em 18/05/2015.

CELESC. **AQUECEDOR SOLAR COMPOSTO DE PRODUTOS DESCARTÁVEIS, MANUAL DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO.** Florianópolis/SC; Maio de 2009. Disponível em: < <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/manuais/manual-aquecedor-solar.pdf>> Acesso em maio 2015.

CHANG, C.C., Wan, S.W. **China's Motor Fuels from Tung Oil.** Ind. Eng. Chem. Res. 39, 1543-1548, 1947.

COIMBRA, N., AZAMBUJA, C., DALMAS, T., COELHO, L. **Eficiência Térmica de Coletor Solar de Baixo Custo;** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS; Porto Alegre-RS, 2008.

CONAB; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra brasileira;** SAFRA 2014/15 Abril/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_10_09_22_05_boletim_graos_abril_2015.pdf> Acesso em 16/05/2015.

DEGANUTTI, R., PALHACI, M., DO, C. J. P., ROSSI, M., TAVARES, R., SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. 4º Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100031&lng=en&nrm=abn> Acesso em 16/05/2015.

DEPEC; DEPARTAMENTO DE PESQUISAS E ESTUDOS ECONÔMICOS. **CARNE BOVINA.** ABRIL DE 2015. Disponível em: http://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_carne_bovina.pdf f> Acesso 18/05/2015.

ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil – Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso- Ano Base 2005.** Rio de Janeiro: Eletrobrás; PROCEL, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B528C16AF-3ECF-4898-A599-D9251D2D4654%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>> Acesso em maio 2015.

EMBRAPA; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- Unidade Soja. **História da Soja no Brasil**. 2012 Disponível em <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia> Acesso em 17/05/2015.

EMBRAPA SOJA. **Soja em números (safra 2013/2014); Londrina – PR**. 2014. Disponível em <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos> acessado em 16/05/2015

EMBRAPA GADO DE CORTE. **BOAS PRÁTICAS AGROPECUÁRIAS: BOVINOS DE CORTE**. Campo Grande/MS; 2007. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/7.pdf> Acessado em 18/05/2015.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate**. Documentos 151; ISSN 1517-3747 Outubro, 2005. Disponível em: http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc_pdf/doc151.pdf> Acesso em 18/05/2015

EPE; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2014**. Relatório síntese, ano base 2013. Disponível em:<https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf> Acesso em 16/05/2015.

EPE; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2013**. Brasília 2014. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf> Acesso em maio 2015.

ESPOSITO, S. A., FUCHS, G. P., **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**. Revista do BNDES, v. 40, 2013, pp. 85-114. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/revista/rev4003.pdf> Acesso em maio de 2015.

European Photovoltaic Industry Association (EPIA). **Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018**. EPIA, 2014. Disponível em: <http://www.epia.org/news/publications/global-market-outlook-for-photovoltaics-2014-2018/>. Acesso em 21/05/2015.

FATEC. **BIOCOMBUSTÍVEIS BIODIESEL**. PIRACICABA, SP; 2015. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/silvaniemendesmoereschi/biodiesel-aulas-1bifatec> Acesso em 18/05/2015.

GARCILASSO, P. V. **ANALISE ENTRE PROCESSO E MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**. UPS/IPP/PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA; SÃO PAULO: 2014.

HO, D., A, HO, E. A. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE AQUECEDOR SOLAR COM CONCENTRADOR**. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2007/Artigos/Art_TCC_017_2007.pdf Acesso em mai 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3ª ed. São Paulo. 1985.

LIMA, J. B. A. **OTIMIZAÇÃO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES UTILIZANDO O PROGRAMA TRNSYS**; Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil a Escola/USP; São Paulo 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/PP2559113/Downloads/Juliana.pdf> Acesso em maio 2015.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 301 p., 1974.

MENEGHETTI, S. M. P.*; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. **A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel**; *Rev. Virtual Quim.*; Vol 5; No. 1; pag.63-73. Disponível em 14/05/2015: <<http://www.uff.br/rvq>> Acesso em 18/05/2015.

NAGAOKA, A. K., SAMPAIO, C. A. P. **DESENVOLVIMENTO DE UM COLETOR SOLAR UTILIZANDO RECICLAGEM DE LÂMPADAS FLUORESCENTES**; *Revista de Ciências Agroveterinárias*, ISSN 1676-9732, v.4, n.2, p. 120-125, Lages, 2005.

OLIVEIRA, D. S., FONSECA, D. S., FARIAS, P. N. **OBTENÇÃO DO BIODIESEL ATRAVÉS DA TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DE *Moringa Oleífera Lam.*** HOLOS, Ano 28, Vol 1; Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Mossoró-RN. 2012. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0CDUQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww2.ifrn.edu.br%2Fjojs%2Findex.php%2FHOLOS%2Farticle%2Fdownload%2F803%2F524&ei=AHNaVe6vI8zNsAWRoIHQAQ&usg=AFQjCNGftOLrqqz-kcXOgS0tnxfcXkCZA&sig2=RWWVfrdMNFQRQJN2JAqzB3Q&bvm=bv.93564037,d.b2w>> Acesso em 20/05/2015.

OLIVEIRA, J. F. **Biodiesel production from waste coconutoil by esterification etanol: the effect of wather removal by adsorption**. *Renowable Energy*. Oxford, v. 35, n. 4, p. 2581-2584, Nov. 2010.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1995. 360p.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. 1ª ed. Unigráfica, Fortaleza, 2003.

Petrobras. **Produção de Biocombustível**. disponível em: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/producao-de-biocombustiveis/> acessado em 16/05/2015

PLÁ, J. A. **Histórico do biodiesel e suas perspectivas**. Julho 2003. Disponível em: https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CEAQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrgs.br%2Fdec%2Fpublionline%2Ftextosprofessores%2Fpla%2Fhist_rico.doc&ei=NFZXVcbUKNDfggT8v4DIAQ&usg=AFQjCNE5sHG0fP-Cs53TbIUymiG-Frmf0w&sig2=kAq0T5m83v8L8XNZAx3XKw&bvm=bv.93564037,d.eXY> Acesso em 16/05/2015.

PLÁ, J. A. **perspectivas do biodiesel no brasil**. Revista Indicadores Econômicos, FEE, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 179-190, set. 2002. Disponível em: < <http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/1396/1758>>. Acesso em: 18/05/2015.

Pousa, P. A. G. **Histórico e Política do Biodiesel no Brasil**. Brasília 2007. Disponível em: <http://revistas.fee.tche.br/index.php/indicadores/article/view/1396/1758>>. Acesso em: 18/05/2015.

Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Brasília-DF; 2014. Disponível em: http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/programa/objetivos_diretrizes.html> Acesso em 16/05/2015.

SETRAK, D. S. **Aquecimento Solar De Água: Metodologia De Avaliação Da Incerteza Na Medição De Desempenho Térmico De Coletores Solares Planos Utilizando Simulador Artificial De Radiação Solar.** Tese de doutorado; Escola Politécnica/USP- São Paulo, 2013.

SHAY, E. G. **Diesel fuel from vegetable-oils - status and opportunities.** *Biomass Bioenergy*. 4, 227-242, 1993.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios.** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166; ISSN 1983-0645). Disponível em: <http://www12.senado.gov.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> Acesso em 21/05/2015.

SINÍCIO, R. **Manual de secagem de grãos em baixas temperaturas** (ar natural ou aquecido por coletores solares). In: REUNIÃO SEMESTRAL DO PROGRAMA CYTED-D: SECAGEM SOLAR DE PRODUTOS BIOLÓGICOS, 1989, Colômbia. Anais., Colômbia: [s.n.], 1989. v.6, p. 5.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo;** Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Federal de Uberlândia; Uberlândia-MG; 2009.

SLUSZZ, T. MACHADO, J. A. D. **Características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar; CEPAN-UFRGS, Porto Alegre;2006.** Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100032&script=sci_arttext&tlng=pt Acesso em 16/05/2015.

SNA; SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Falta de matéria-prima e aumento dos custos afetam setor de graxarias.** Rio de Janeiro, RJ. Brasil; 25/02/2015. Disponível em: <http://sna.agr.br/falta-de-materia-prima-e-aumento-dos-custos-afetam-setor-de-graxarias/>> Acessado em 18/05/2015.

UNISO. **Empresas estão de olho no seu telhado**; 2015. Disponível em: <http://www.unisolaquecedores.com.br/noticias.php?id=80.>> Acesso em 21/05/2015.

VAN, H., LETTINGA G. **Tratamento anaeróbio de esgotos, um manual para região quente**; Campina Grande, Epgraf, 1994

VIEIRA, S. S.. **Produção De Biodiesel Via Esterificação De Ácidos Graxos Livres Utilizando Catalisadores Heterogêneos Ácidos**. UFLA; LAVRAS-MG; 2011. Disponível em: [<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2525/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel%20via%20esterifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1cidos%20graxos%20livres%20utilizando%20catalisadores%20heterog%C3%AAneos%20%C3%A1cidos.pdf>](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2525/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel%20via%20esterifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1cidos%20graxos%20livres%20utilizando%20catalisadores%20heterog%C3%AAneos%20%C3%A1cidos.pdf) Acesso em 18/05/2015.

WWF; World Wildlife Fund. **O crescimento da soja - Impactos e soluções**. Report; 2014. Disponível em: [<http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_relatorio_soja_port.pdf>](http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_relatorio_soja_port.pdf) Acesso em 18/05/2015.

20- Apêndice**Tabela 11.** Equação de cada sensor de temperatura e seu R2 respectivamente.

Sensor	Equação	R ²
1	$y=0,9894x$	0,9833
2	$y=0,9889x$	0,9908
3	$y=1,0098x$	0,9861
4	$y=0,9965x$	0,9794
5	$y=0,9828x$	0,9939
6	$y=0,9769x$	0,9967
7	$y=1,0087x$	0,9981

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12. Umidade Relativa e Temperatura do ar; Temperatura interna de cada coletor e Temperatura Média da água no Boiler de cada Aquecedor em 0C a cada horário de coleta.

HORAS	TEMPERATURA INTERNA DOS COLETORES					USP				CELSC				UFSC			
	UR	-Ambient	T-USP	T-CELESC	T-UFSC	T-1	T-2	T-3	T-MEDIA	T-1	T-2	T-3	T-MEDIA	T-1	T-2	T-3	T-MEIDA
09:30	51	16,95	19,89	17,01	18,57	17,37	16,74	16,41	16,84	18,28	17,94	17,58	17,93	17,67	16,84	16,51	17,01
10:00	43,7	18,56	25,23	23,44	31,84	20,50	18,73	17,97	19,07	21,00	19,43	19,05	19,83	20,80	19,53	17,19	19,18
10:30	36,5	20,17	30,67	29,96	38,53	23,63	21,23	19,64	21,50	23,73	21,03	20,51	21,76	24,03	22,22	17,78	21,34
11:00	34	21,59	37,80	41,24	44,03	28,07	24,41	23,93	25,47	26,76	24,81	24,32	25,30	26,56	25,01	20,81	24,13
11:30	33	22,09	40,86	44,70	51,30	32,21	29,40	28,23	29,95	30,09	29,40	28,72	29,40	29,39	28,40	27,94	28,57
12:00	29	23,30	44,72	48,85	59,16	37,77	35,67	33,70	35,71	34,84	34,58	34,00	34,47	33,93	32,78	31,46	32,72
12:30	25	23,50	46,01	50,73	63,49	39,99	39,16	37,90	39,02	39,58	39,26	37,90	38,92	34,54	33,38	32,43	33,45
13:00	32	23,91	46,80	51,23	66,54	43,72	42,85	41,81	42,80	41,91	40,56	38,10	40,19	37,36	35,97	35,07	36,14
13:30	26	25,22	50,56	53,90	62,01	47,06	46,34	44,94	46,11	43,32	43,35	42,69	43,12	49,18	47,83	47,18	48,06
14:00	26	25,42	49,77	58,15	63,39	50,39	48,83	48,26	49,16	47,56	45,94	45,43	46,31	49,38	47,83	46,99	48,07
14:30	27	25,72	51,45	54,88	64,37	53,01	51,42	50,31	51,58	47,56	47,33	46,50	47,13	49,58	48,73	47,77	48,69
15:00	28	24,11	45,61	53,30	64,08	54,43	52,71	51,68	52,94	48,67	47,53	46,60	47,60	48,98	48,53	47,58	48,36

Elaborado pelo autor, 2015.

Nota: UR: Umidade relativa do ar; Amient: Temperatura do Ambiente; T-USP: Temperatura Interna do coletor USP; T-CELESC: Temperatura interna do coletor-CELESC; T-UFSC: Temperatura interna do coletor-UFSC; T-1, T-2, T-3: Temperatura da água em três profundidades, 2 cm, 8cm e 16cm respectivamente. T-MEDIA: Temperatura Média da água nos boiler em cada horário.

Tabela 13. Análise estatística da temperatura do efeito de estufa de cada coletor.

EFEITO ESTUFA DO COLETOR										
10	TRATAMENTOS	B L O C O S								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		11	12							
49.7700	51.4500	19.8900	25.2300	30.6700	37.8000	40.8600	44.7200	46.0100	46.8000	50.5600
		45.6100	489.3700							
58.1500	54.8800	17.0100	23.4400	29.9600	41.2400	44.7000	48.8500	50.7300	51.2300	53.9000
		53.3000	527.3900							
63.3900	64.3700	25.0600	31.8400	38.5300	44.0300	51.3000	59.1600	63.4900	66.5400	62.0100
		64.0800	633.8000							

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	11.	5282.8212	480.2565	61.07 **
TRATAMENTOS	2.	934.1287	467.0644	59.39 **
RESIDUO	22.	173.0031	7.8638	
TOTAL	35.	6389.9530		

DESVIO PADRAO = 2.8042
 MEDIA GERAL = 45.8489

ERRO PADRAO DA MEDIA = 0.8095
 COEFICIENTE DE VARIACAO = 6.12

TESTE DE TUKEY		
DMS (TUKEY) =	2.8760	
TRAT.	MEDIA	
3	52.8167	A
2	43.9492	B
1	40.7808	C

Tabela 14. Análise estatística da temperatura da água de cada boiler.

TEMPERATURA DA AGUA AQUECIDA										
10	TRATAMENTOS	B L O C O S								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		11	12							
49.1600	51.5800	16.8400	19.0700	21.5000	25.4700	29.9500	35.7100	39.0200	42.8000	46.1100
		52.9400	430.1500							
46.3100	47.1300	17.9300	19.8300	21.7600	24.0400	29.4000	34.4700	38.9200	40.1900	43.1200
		47.6000	410.7000							
48.0700	48.6900	17.0100	19.1800	21.3400	24.1300	28.5700	32.7200	33.4500	36.1400	48.0600
		48.3600	405.7200							

QUADRO DE ANALISE DE VARIANCIA DO EXPERIMENTO

C. VARIACAO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
BLOCOS	11.	4808.0017	437.0911	144.94 **
TRATAMENTOS	2.	27.7758	13.8879	4.61 *
RESIDUO	22.	66.3469	3.0158	
TOTAL	35.	4902.1244		
DESVIO PADRAO =	1.7366		ERRO PADRAO DA MEDIA =	.5013
MEDIA GERAL =	34.6269		COEFICIENTE DE VARIACAO =	5.02

TESTE DE TUKEY

DMS (TUKEY) = 1.7810

TRAT. MEDIA

1	35.8458	A
2	34.2250	AB
3	33.8100	B